



TUGAS AKHIR - TE 141599

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN MEKANISME
PELEPASAN BEBAN DI PT. PUPUK KUJANG**

Aulia Rahman
NRP 2213 100 096

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



FINAL PROJECT - TE 141599

**TRANSIENT STABILITY ANALYSIS AND LOAD
SHEDDING MECHANISM AT PT. PUPUK KUJANG**

Aulia Rahman
NRP 2213 100 096

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Ir. Sjamsjul Anam, M.T.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pupuk Kujang”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2017

Aulia Rahman
NRP 2213100096

**ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN MEKANISME
PELEPASAN BEBAN DI PT. PUPUK KUJANG**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1



Dosen Pembimbing 2



Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
NIP. 1966 03 18 1990 10 1 001

Ir. Sjamsjul Anam, M.T.
NIP. 1963 07 25 1990 03 1 002



ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DAN MEKANISME PELEPASAN BEBAN DI PT. PUPUK KUJANG

Nama : Aulia Rahman
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Pembimbing II : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ABSTRAK

Pada dunia industri, keberlangsungan proses produksi sangatlah penting. Proses penyaluran listrik harus tetap terjaga agar kontinuitas proses produksi tetap dapat berjalan. Sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang saat ini disuplai dari satu pembangkit dengan kapasitas 18,35 MW dan *Utility* dari PLN, dengan total beban sebesar 12,8 MW. Sementara itu, PT. Pupuk Kujang berencana untuk melakukan penambahan beban baru sebesar 5 MW dan penambahan generator baru dengan kapasitas 11,8 MW. Dengan adanya rencana penambahan beban dan generator baru tersebut maka perlu dilakukan adanya studi analisis kestabilan transien dari sistem kelistrikan PT. Pupuk Kujang. Analisis kestabilan transien yang akan dilakukan meliputi *generator outage*, *short circuit* dan *motor starting*. Selain itu akan dilakukan juga mekanisme pelepasan beban yang handal saat terjadi gangguan kestabilan sistem untuk menjamin kemampuan sistem untuk kembali pulih akibat gangguan tersebut. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, saat kasus *generator outage* atau *utility off* didapatkan bahwa saat adanya gangguan pada *utility* sistem mengalami fenomena ketidakstabilan, sehingga diperlukan mekanisme pelepasan beban. Pada saat kasus *short circuit* di tiga level tegangan yang berbeda sistem masih mampu kembali dalam kondisi stabilnya meskipun pada sisi tegangan mengalami fenomena *dip voltage*. Pada saat kasus penyalaan motor dengan kapasitas terbesar kondisi sistem masih dalam kondisi yang stabil baik dari frekuensi maupun tegangan.

Kata Kunci: Kestabilan sistem, gangguan, pelepasan beban

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

TRANSIENT STABILITY AND LOAD SHEDDING MECHANISM AT PT. PUPUK KUJANG

Name : Aulia Rahman
1st Advisor : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2nd Advisor : Ir. Sjamsjul Anam, MT.

ABSTRACT

In the industrial world, the sustainability of the production process is important matter. The process of electricity distribution must be maintained well so the sustainability of the production process do well. The electricity system at PT. Pupuk Kujang currently supplied by 18,35 MW gas-turbine-generator and utility from PT. PLN, with 12,8 MW total load demand. In the future, PT. Pupuk Kujang planned to take the addition of 5 MW new load and also addition of new generator with the capacity of 11,8 MW. By the plan of addition a new load and a new generator, PT. Pupuk Kujang needs to do transient stability analysis study for its new electrical system. Transient stability analysis that will be done are generator outage, short circuit, and motor starting. Besides, there is also reliable load shedding mechanism when there is a disturbance in the system in order to ensure the capability of a system for returning to steady condition after the disturbance. After we got the result from simulation, when the generator outage and utility off cases we got that the system become unstable when there is a disturbance in utility. On the short circuit cases in three different voltage level, system still in stable condition though there is a dip voltage at the system. On motor starting large capacity motor the system still on stable condition both from its frequency and its voltage.

Keywords: *System stability, disturbances, load shedding*

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “*Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. Pupuk Kujang*”.

Tugas akhir ini merupakan salah satu mata kuliah yang harus ditempuh dalam persyaratan akademik program studi S1 di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam proses penyusunan buku ini terdapat pihak-pihak yang sangat berjasa dalam membantu terwujudnya buku ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis dan segenap keluarga yang selalu memberikan semangat, kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material.
2. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT. dan Ir. Sjamsjul Anam. MT selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran dan bimbingan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Seluruh asisten dan member LIPIST B-204 Memet, Mbah Isa, Jatu, Pacil, Fahmi, Ipul, Ma'shum, Rizka, Kemal, Fauqi, Kezia, Talitha, Ardi, Azha, Guntur yang telah memberikan bantuan dan dukungan selama ini.
4. Seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS, cabinet HIMATEKTRO 2015/2016, ECLUS, teman-teman ITS 61 2013, sahabat-sahabat e-53 (2013), para dosen, karyawan atas dukungan, masukan serta kerjasamanya sepanjang masa perkuliahan dan pengerjaan tugas akhir ini.

Besar harapan penulis agar tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk banyak pihak. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik, saran serta koreksi yang membangun dari pembaca untuk perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Permasalahan	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Metodologi.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	5
1.6 Relevansi.....	5
BAB 2 KESTABILAN TRANSIEN.....	7
2.1 Kestabilan Sistem Tenaga	7
2.2 Klasifikasi Kestabilan	8
2.2.1 Kestabilan Tegangan.....	9
2.2.2 Kestabilan Sudut Rotor	9
2.2.3 Kestabilan Frekuensi.....	10
2.3 Pengaturan Frekuensi	11
2.3.1 Mode Droop	12
2.3.2 Mode Isochronous.....	13
2.4 Standar yang Berkaitan dengan Kestabilan Transien.....	13
2.4.1 Standar Frekuensi.....	13
2.4.2 Metode Pelepasan Beban	14
2.4.3 Standar Tegangan.....	15
BAB 3 SISTEM KELISTRIKAN DI PT. PUPUK KUJANG	17
3.1 Sistem Kelistrikan di PT. Pupuk Kujang.....	17
3.2 Data Kelistrikan di PT. Pupuk Kujang	18
3.2.1 Sistem Pembangkitan di PT. Pupuk Kujang	18
3.2.2 Transformator di PT. Pupuk Kujang	19
3.2.3 Data Kabel di PT. Pupuk Kujang	20
3.2.4 Data Motor di PT. Pupuk Kujang	22
3.2.5 Data Motor Terbesar di PT. Pupuk Kujang.....	23

BAB 4 ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DI PT. PUPUK KIJANG	25
4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan	25
4.2 Studi Kasus Kestabilan Transien	25
4.3 Hasil Simulasi Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban.....	27
4.3.1 Studi Kasus Utility PLN Off saat Operasi Pembangkitan 1 ($t = 2$ detik).....	27
4.3.1.1 Studi Kasus Utility PLN off Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi	29
4.3.1.2 Studi Kasus Utility PLN off dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status	30
4.3.2 Studi Kasus Utility PLN Off dari sistem saat Operasi Pembangkitan 2 ($t = 2$ detik)	32
4.3.2.1 Studi Kasus Utility PLN off Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi	33
4.3.2.2 Studi Kasus Utility PLN off Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status	38
4.3.3 Studi Kasus Generator GTG-Hitachi Lepas dari Sistem saat Operasi Pembangkitan 3 ($t = 2$ detik)	39
4.3.3.1 Studi Kasus Generator GTG-Hitachi Lepas dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi	41
4.3.3.2 Studi Kasus Generator GTG-Hitachi lepas dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status	45
4.3.4 Studi Kasus Generator GTG-K1B Solar Lepas dari Sistem saat Operasi Pembangkitan 3 ($t = 2$ detik)	47
4.3.4.1 Studi Kasus Generator GTG-K1B Solar Lepas dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi	48
4.3.4.2 Studi Kasus Generator GTG-K1B Solar lepas dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status.....	51
4.3.5 Studi Kasus Utility PLN Off dari Sistem saat Operasi Pembangkitan 4 ($t = 2$ detik)	53
4.3.5.1 Studi Kasus Utility PLN off Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi	54
4.3.5.2 Studi Kasus Utility PLN off Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status	57

4.3.6 Studi Kasus Hubung Singkat pada Bus Housing 13,8kV saat Operasi Pembangkitan 1 ($t = 2$ detik)	59
4.3.7 Studi Kasus Hubung Singkat pada Bus 00-MCC-2 2,4kV saat Operasi Pembangkitan 1 ($t = 2$ detik)	60
4.3.8 Studi Kasus Hubung Singkat pada Bus 61-MCC-3 0,4kV saat Operasi Pembangkitan 1 ($t = 2$ detik)	62
4.3.9 Studi Kasus Penyalaan Motor C-GA2001CM saat Operasi Pembangkitan 3 ($t = 2$ detik).....	64
4.4 Rekapitulasi Data	65
4.4.1 Rekapitulasi Nominal Pelepasan Beban.....	65
4.4.2 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan.....	66
BAB 5 PENUTUP.....	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
BIOGRAFI PENULIS	75
LAMPIRAN.....	77

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir	4
Gambar 2.1 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga	8
Gambar 2.2 Blok Diagram Kerja Speed Governor	12
Gambar 2.3 Standar Frekuensi Untuk Steam Turbine.....	14
Gambar 3.1 Single Line Diagram PT. Pupuk Kujang	17
Gambar 3.2 Kurva Karakteristik Motor C-GA2001CM	24
Gambar 4.1 Respons Frekuensi saat utility PLN off dari sistem.....	28
Gambar 4.2 Respons Tegangan Saat Utility Off dari Sistem.....	28
Gambar 4.3 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi.....	29
Gambar 4.4 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi.....	30
Gambar 4.5 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status	31
Gambar 4.6 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan Status	31
Gambar 4.7 Respons Frekuensi saat Utility PLN off dari sistem.....	32
Gambar 4.8 Respons Tegangan Saat Utility off dari Sistem.....	33
Gambar 4.9 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi.....	34
Gambar 4.10 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi.....	34
Gambar 4.11 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi.....	35
Gambar 4.12 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi.....	36
Gambar 4.13 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 3 dengan Frekuensi.....	37
Gambar 4.14 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 3 dengan Frekuensi.....	37
Gambar 4.15 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status	38
Gambar 4.16 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan status	39
Gambar 4.17 Respons Frekuensi saat GTG-Hitachi Lepas dari Sistem	40
Gambar 4.18 Respons Tegangan Saat GTG-Hitachi Lepas dari Sistem	40

Gambar 4.19 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi	41
Gambar 4. 20 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi	42
Gambar 4.21 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi	43
Gambar 4.22 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi	43
Gambar 4.23 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 3 dengan Frekuensi	44
Gambar 4.24 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 3 dengan Frekuensi	45
Gambar 4.25 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status	46
Gambar 4.26 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan status	46
Gambar 4.27 Respons Frekuensi saat GTG-K1B Solar Lepas dari Sistem	47
Gambar 4.28 Respons Tegangan Saat GTG-K1B Solar lepas dari Sistem	48
Gambar 4.29 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi	49
Gambar 4.30 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi	49
Gambar 4. 31 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi	50
Gambar 4.32 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi	51
Gambar 4. 33 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status.....	52
Gambar 4.34 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan status	52
Gambar 4.35 Respons Frekuensi saat Utility PLN off dari sistem	53
Gambar 4.36 Respons Tegangan Saat Utility off dari Sistem	54
Gambar 4.37 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi	55
Gambar 4.38 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi	55

Gambar 4.39 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi.....	56
Gambar 4.40 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi.....	57
Gambar 4.41 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status	58
Gambar 4. 42 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan status	58
Gambar 4.43 Respons Frekuensi saat Hubung Singkat di Bus Housing	59
Gambar 4.44 Respons Tegangan Saat Hubung Singkat di Bus Housing	60
Gambar 4.45 Respons Frekuensi saat Hubung Singkat di Bus 00-MCC-2	61
Gambar 4.46 Respons Tegangan Saat Hubung Singkat di Bus 00-MCC- 2.....	61
Gambar 4.47 Respons Frekuensi saat Hubung Singkat di Bus 61-MCC-3	62
Gambar 4.48 Respons Tegangan Saat Hubung Singkat di Bus 61-MCC- 3.....	63
Gambar 4.49 Respons Frekuensi saat Penyalaan Motor C-GA2001CM	64
Gambar 4.50 Respons Tegangan saat Penyalaan Motor C-GA2001CM	65

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah	14
Tabel 2.2 Skema Pelepasan Beban Enam Langkah	15
Tabel 2.3 Konversi Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah pada Sistem 50Hz.....	15
Tabel 2.4 Definisi Voltage Magnitude Event Berdasarkan Standar IEEE 1159-2009	16
Tabel 3.1 Data Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Kebutuhan Daya	18
Tabel 3.2 Data Spesifikasi Generator.....	18
Tabel 3.3 Data Spesifikasi Transformator.....	19
Tabel 3.4 Data Spesifikasi Transformator (lanjutan)	20
Tabel 3.5 Data Spesifikasi Kabel	20
Tabel 3.6 Data Spesifikasi Kabel (lanjutan).....	21
Tabel 3.7 Data Spesifikasi Motor.....	22
Tabel 3.8 Data Spesifikasi Motor (Lanjutan).....	23
Tabel 3.9 Data Karakteristik Motor C-GA2001CM Saat Starting	23
Tabel 4.1 Studi Kasus Kestabilan Transien	26
Tabel 4.2 Nominal Pelepasan Beban.....	65
Tabel 4.3 Kasus Kestabilan Transien saat Operasi Pembangkitan 1	66
Tabel 4.4 Kasus Kestabilan Transien saat Operasi Pembangkitan 2.....	67
Tabel 4.5 Kasus Kestabilan Transien saat Operasi Pembangkitan 3.....	68
Tabel 4.6 Kasus Kestabilan Transien saat Operasi Pembangkitan 4.....	69

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kestabilan dalam sistem tenaga merupakan kondisi dimana sistem tenaga mampu beroperasi dalam kondisi setimbang saat keadaan operasi normal dan dapat kembali ke kondisi setimbang setelah terjadi gangguan pada sistem tenaga tersebut [1]. Masalah-masalah kestabilan pada sistem tenaga ini kerap kali kita temukan didalam sistem tenaga seiring perkembangan pada sistem tenaga itu sendiri. Kestabilan dari suatu sistem tenaga perlu diperhatikan, karena sangat erat kaitannya dengan kontinuitas penyaluran daya pada suatu sistem tenaga. Apabila kontinuitas penyaluran daya pada sistem tenaga ini terganggu, maka akan terjadi kerugian yang besar terutama bagi sektor perindustrian. Kestabilan dalam suatu sistem tenaga listrik terjadi saat terjadinya sinkronisasi antara daya input mekanik prime mover dengan daya output elektrik yang disalurkan ke beban. Apabila saat terjadi perubahan berupa kenaikan dan penurunan beban daya input yang diberikan oleh prime mover tidak dapat menyesuaikan perubahan tersebut maka hal tersebut merupakan penyebab gangguan kestabilan pada sistem.

Salah satu jenis kestabilan pada sistem tenaga yaitu kestabilan transien. Kestabilan transien merupakan kemampuan dari suatu sistem tenaga untuk mempertahankan sinkronisasi saat terkena gangguan transien [1]. Permasalahan pada kestabilan transien ini berkaitan erat dengan gangguan-gangguan besar yang terjadi secara tiba-tiba dan berlangsung dalam waktu yang singkat. Jenis-jenis gangguan yang biasa terjadi pada kestabilan transien yaitu gangguan dari lepasnya generator (generator outage), gangguan hubung singkat (short circuit), dan perubahan beban secara tiba-tiba (maneuver). Gangguan-gangguan tersebut merupakan gangguan besar yang dapat mengakibatkan hilangnya sinkronisasi generator dengan sistem apabila tidak dihilangkan dengan segera.

Sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang saat ini di suplai dari satu pembangkit dengan kapasitas 18,35 MW dan utility dari PLN, dengan total beban sebesar 12,8 MW. Sementara itu, PT. Pupuk Kujang berencana untuk melakukan penambahan beban baru sebesar 5 MW dan penambahan generator baru dengan kapasitas 11,8 MW. Dengan adanya rencana penambahan beban dan generator baru tersebut maka perlu dilakukan adanya studi analisis kestabilan transien dari sistem kelistrikan

PT. Pupuk Kujang. Analisis kestabilan transien yang akan dilakukan meliputi generator outage, short circuit dan motor starting. Selain itu akan dilakukan juga mekanisme pelepasan beban yang handal saat terjadi gangguan kestabilan sistem untuk menjamin kemampuan sistem untuk kembali pulih akibat gangguan tersebut.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagaimana pola operasi pada sistem kelistrikan yang ada di PT. Pupuk Kujang?
2. Bagaimana kondisi kestabilan frekuensi dan tegangan pada sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang saat dilakukan analisis kestabilan transien?
3. Bagaimana merancang sistem mekanisme pelepasan beban (*load shedding*) yang handal pada PT. Pupuk Kujang saat terjadi gangguan transien?

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini diharapkan sebagai berikut:

1. Melakukan studi mengenai kestabilan transien dari sistem kelistrikan yang ada di PT. Pupuk Kujang untuk mendapatkan rekomendasi untuk menjaga keandalan dan kestabilan sistem sehingga dapat mengatasi gangguan hubung singkat, motor starting dan generator outage.
2. Melakukan perancangan suatu mekanisme pelepasan beban yang handal pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Kujang agar dapat kembali stabil saat terjadi gangguan transien.

1.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data-data yang dibutuhkan dalam Tugas Akhir ini adalah data single line diagram dan peralatan-peralatan listrik pada PT. Pupuk Kujang meliputi: generator (governor dan eksiter), rating kabel, transformator, motor listrik, bus serta pola operasinya.

2. Pemodelan Sistem

Melakukan pemodelan sistem sekaligus menginputkan data-data dalam bentuk Single line diagram. Pemodelan sistem dilakukan agar dapat dilakukan analisis Aliran Daya dan Transient Stability. Pemodelan sistem ini dilakukan dengan software ETAP 12.6.

3. Simulasi dan Analisis Aliran Daya

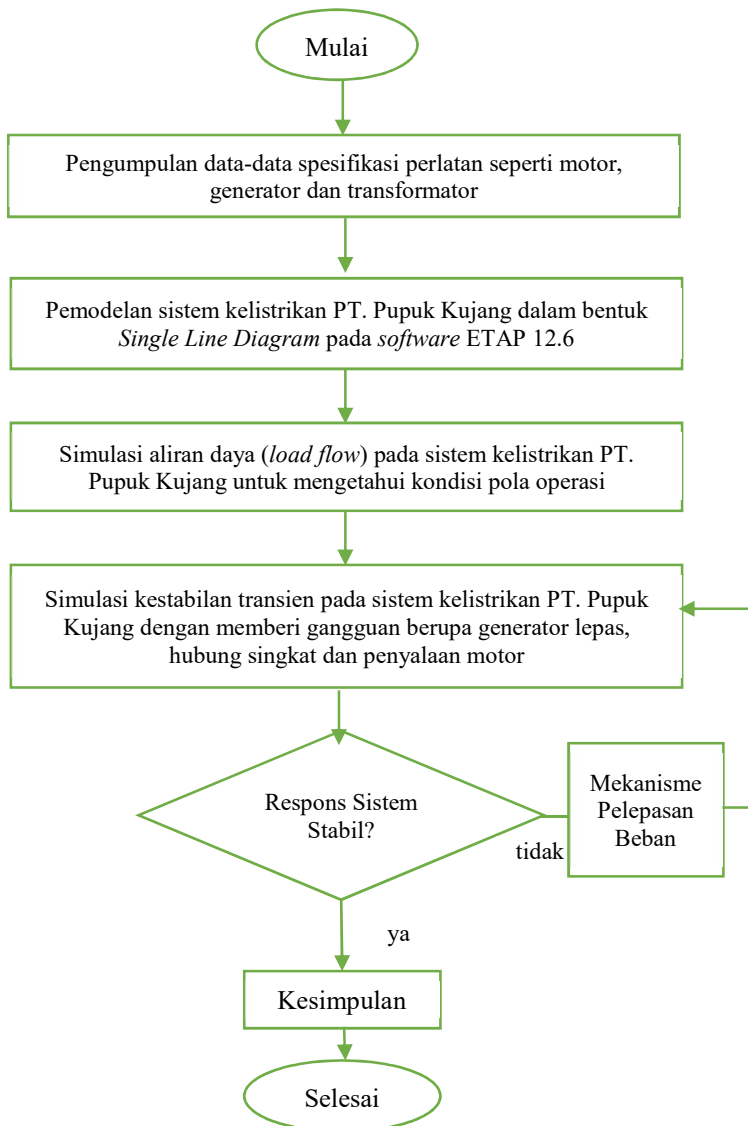
Melakukan simulasi Aliran Daya pada sistem kelistrikan yang ada di PT. Pupuk Kujang dengan software ETAP 12.6. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk mengetahui aliran daya pada sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang dan di lakukan analisis skema operasi yang digunakan. Setelah dilakukan analisis, simulasi tersebut dijadikan acuan untuk melakukan studi kasus terkait gangguan transien dan mekanisme pelepasan beban.

4. Simulasi dan Analisis Kestabilan Transien

Melakukan simulasi kestabilan transien pada sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang dengan software ETAP 12.6. Jenis gangguan transien yang akan dianalisis yaitu berupa gangguan hubung singkat, starting motor dan lepasnya generator. Data simulasi yang akan dianalisis yaitu berupa data respons frekuensi dan respons tegangan. Apabila kedua data tersebut saat terjadi gangguan transien masih dalam standar yang telah ditetapkan maka sistem dinyatakan stabil. Jika tidak stabil maka dilakukan mekanisme pelepasan beban dan dilakukan analisa kembali sampai sistem stabil.

5. Kesimpulan

Memberikan kesimpulan mengenai kestabilan sistem akibat gangguan transien pada PT. Pupuk Kujang serta memberikan rekomendasi untuk mengatasi gangguan-gangguan yang terjadi.



Gambar 1. 1 Diagram Alir Metodologi Tugas Akhir

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan pada tugas akhir ini dibagi dalam lima bab dengan deskripsi sebagai berikut:

Bab I : Pendahuluan

Pada bab ini akan dibahas tentang latar belakang, permasalahan, tujuan, metodologi, sistematika penulisan serta relevansi pada tugas akhir ini.

Bab II : Dasar Teori

Pada bab ini akan dibahas tentang teori-teori penunjang tentang kestabilan transien pada sistem tenaga dan juga standar-standar yang perlu diperhatikan terkait parameter kestabilan sistem.

Bab III : Sistem kelistrikan PT. Pupuk Kujang

Pada bab ini akan dibahas terkait data-data kondisi kelistrikan yang ada pada PT. Pupuk Kujang baik data pembangkitan maupun data pembebanan.

Bab IV : Simulasi dan Analisis

Pada bab ini akan dibahas terkait hasil simulasi dari beberapa studi kasus yang meliputi kasus generator lepas, hubung singkat dan penyalaan motor beserta Analisa dan mekanisme pelepasan bebannya.

Bab V : Kesimpulan

Pada bab ini akan dibahas kesimpulan dari keseluruhan studi kasus pada tugas akhir ini dan juga beberapa saran terkait studi kasus yang telah dianalisis.

1.6 Relevansi

Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Dapat menjadi rekomendasi dan referensi bagi PT. Pupuk Kujang terkait dengan kestabilan transien pada sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang sehingga kestabilan sistem kelistrikannya dapat terjaga dan kontinuitas produksi tidak terganggu.
2. Dapat menjadi referensi terkait analisis kestabilan transien pada sistem kelistrikan industri untuk penelitian selanjutnya

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 2

KESTABILAN TRANSIEN

2.1 Kestabilan Sistem Tenaga

Kestabilan dalam sistem tenaga merupakan kondisi dimana sistem tenaga mampu beroperasi dalam kondisi setimbang dalam keadaan operasi normal dan dapat kembali ke kondisi setimbang setelah terjadi gangguan pada sistem tenaga tersebut [1]. Ketidakstabilan pada sistem tenaga dapat terjadi dengan berbagai macam cara tergantung dari konfigurasi sistem dan mode operasinya. Pada dasarnya permasalahan pada kestabilan yaitu tentang bagaimana caranya untuk mempertahankan operasi yang sinkron.

Sistem tenaga dinyatakan stabil bila daya input mekanik yang dihasilkan *prime mover* setimbang dengan daya output elektrik yang disalurkan ke beban. Apabila terjadi perubahan beban pada sistem akan menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan daya mekanik dan elektrik dari generator. Apabila terjadi penurunan beban maka secara otomatis daya output elektrik berkurang dan daya mekanik menjadi berlebih sehingga rotor generator mengalami penambahan kecepatan yang mengakibatkan hilangnya sinkronisasi dengan sistem. Sebaliknya apabila terjadi penambahan beban maka secara otomatis daya output elektrik bertambah dan daya mekanik menjadi berkurang karena semakin terbebani generator sehingga putaran rotor generator mengalami perlambatan yang dapat pula menyebabkan hilangnya sinkronisasi dengan sistem. Percepatan dan perlambatan yang terjadi pada rotor generator tersebut dapat mengakibatkan hilangnya sinkronisasi pembangkit dengan sistem. Setelah terjadi gangguan terdapat periode transien dimana pada periode tersebut merupakan periode pengembalian sistem ke kondisi sinkron kembali.

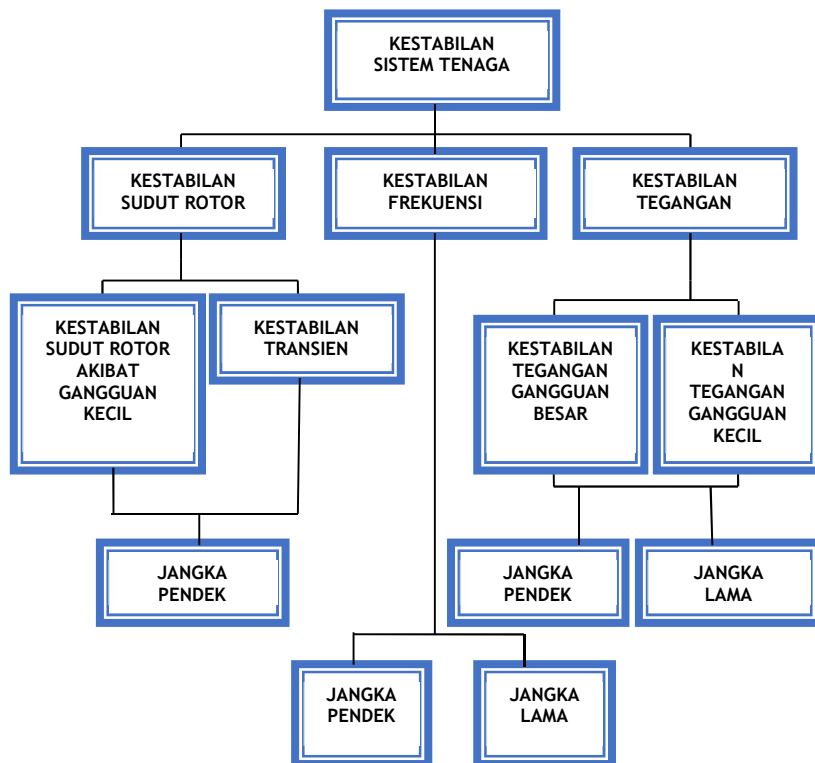
Sistem dinyatakan stabil apabila sistem tersebut mampu mempertahankan sinkronisasi sistem pada akhir periode transien. Respons osilasi sistem tenaga dinyatakan stabil bila gangguan mengalami peredaman selama periode transien mencapai kondisi mantap (*steady*), namun apabila sistem tidak dapat meredam osilasi maka sistem dinyatakan tidak stabil [1]. Sistem yang baik adalah sistem yang dapat meredam osilasi saat terjadi gangguan kembali ke kondisi *steady*. Jenis gangguan kestabilan terbagi menjadi dua jenis, yaitu gangguan besar dan gangguan kecil. Gangguan besar pada sistem yaitu seperti lepasnya generator dari sistem (*generator outage*) dan hubung singkat (*short*

circuit). Sedangkan gangguan kecil pada sistem yaitu seperti perubahan beban yang terus-menerus berlangsung.

2.2 Klasifikasi Kestabilan

Berdasarkan referensi [2], kestabilan pada sistem tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu:

- Kestabilan tegangan
- Kestabilan sudut rotor
- Kestabilan frekuensi



Gambar 2.1 Klasifikasi Kestabilan Sistem Tenaga

2.2.1 Kestabilan Tegangan

Kestabilan tegangan adalah kemampuan dari suatu sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan yang stabil pada semua bus dari sistem setelah mengalami gangguan [2]. Kestabilan tegangan dipengaruhi oleh kemampuan untuk mengembalikan kesetimbangan dari kebutuhan daya untuk beban dan suplai beban dari sistem [2]. Gangguan yang terjadi biasanya adalah lepasnya beban secara tiba-tiba atau terjadinya kehilangan keseimbangan dari salah satu generator sehingga tegangan sistem menjadi turun secara signifikan. Kestabilan tegangan dipengaruhi oleh adanya gangguan besar dan kecil dalam jangka waktu yang lama ataupun singkat. Ketidakstabilan ini menyebabkan nilai tegangan menjadi naik ataupun turun di beberapa bus yang terdapat pada sistem. Hal ini disebabkan karena sistem tidak mampu menyuplai kebutuhan daya reaktif pada beban yang ada.

Kestabilan tegangan dikelompokkan menjadi dua macam, berdasarkan jenis gangguannya:

1. Kestabilan tegangan akibat gangguan besar

Kestabilan tegangan yang diakibatkan gangguan besar merupakan kemampuan dari sistem untuk menjaga sistemnya untuk tetap menjaga tegangan yang stabil setelah gangguan besar yaitu hilangnya pembangkitan akibat lepasnya generator ataupun akibat hubung singkat.

2. Kestabilan tegangan akibat gangguan kecil

Kestabilan tegangan yang diakibatkan gangguan kecil merupakan kemampuan dari sistem untuk menjaga sistemnya untuk tetap menjaga tegangan yang stabil setelah gangguan kecil seperti perubahan-perubahan kecil seperti perubahan beban-beban kecil.

2.2.2 Kestabilan Sudut Rotor

Kestabilan sudut rotor merupakan kemampuan dari mesin-mesin sinkron yang terinterkoneksi untuk mempertahankan sinkronisasi saat terjadi gangguan [2]. Kestabilan sudut rotor dipengaruhi oleh kemampuan mesin-mesin sinkron untuk mempertahankan keseimbangan antara torsi mekanik dan torsi elektromagnetik. Ketidakstabilan mengakibatkan peningkatan kecepatan sudut yang berubah-ubah pada generator, yang akan menyebabkan hilangnya sinkronisasi antar generator. Hal ini terjadi karena daya output generator yang berubah sesuai dengan berubahnya rotor. Kestabilan sudut rotor pada gangguan besar merupakan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan sinkronisasi,

salah satu contohnya adalah seperti hubungan singkat pada saluran transmisi.

Pada saat sistem dalam kondisi *steady state* terdapat kesetimbangan antara torsi elektrik dan torsi mekanik dari masing-masing generator dengan kecepatan konstan. Jika sistem mengalami gangguan, titik kesetimbangan ini akan berubah dan mengakibatkan percepatan atau perlambatan sudut rotor. Ketika salah satu generator berputar lebih cepat dari generator yang lain, posisi sudut rotor relatif terhadap generator yang lebih lambat akan meningkat. Perbedaan sudut yang dihasilkan antara mesin yang lebih lambat dengan mesin yang lebih cepat ini bergantung pada hubungan daya dan sudut rotor. Kestabilan sudut rotor secara umum dibedakan menjadi dua bagian, yaitu:

1. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil

Kestabilan sudut rotor akibat gangguan kecil berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan kesinkronan akibat gangguan kecil. Studi kestabilan ini mempunyai kurun waktu 10-20 detik setelah gangguan dan tergantung pada operasi awal sistem. Ketidakstabilan ini terjadi akibat dua hal yang penting yaitu kurangnya torsi sinkronisasi dan kurangnya torsi damping.

Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi sinkron akibat gangguan besar seperti gangguan hubung singkat. Respons sistem akibat gangguan besar ini melibatkan besarnya penyimpangan sudut rotor generator dan dipengaruhi juga oleh ketidaklinearan hubungan sudut daya.

2. Kestabilan sudut rotor akibat gangguan besar atau kestabilan transien

Kestabilan ini berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan kondisi sinkron akibat gangguan besar seperti gangguan hubung singkat. Respons sistem akibat gangguan besar ini melibatkan besarnya penyimpangan sudut rotor generator dan dipengaruhi juga oleh ketidaklinearan hubungan sudut daya. Kestabilan transien bergantung pada kondisi inisial dari sistem dan juga bergantung pada besarnya gangguan yang terjadi. Untuk kestabilan transien biasanya diamati dalam kurun waktu 3-5 detik setelah gangguan, atau juga bisa 10-20 detik setelah gangguan jika sistemnya sangat besar.

2.2.3 Kestabilan Frekuensi

Kestabilan frekuensi merupakan kemampuan dari suatu sistem untuk dapat mempertahankan keadaan frekuensi yang stabil akibat gangguan pada sistem yang mengakibatkan ketidakseimbangan antara

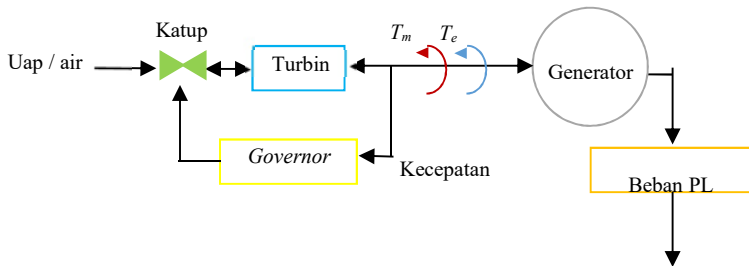
pembangkitan dan beban [2]. Secara umum masalah kestabilan frekuensi diakibatkan oleh ketidakmampuan dari respons suatu peralatan, terjadinya kesalahan koordinasi pada peralatan kontrol dan peralatan pengamanan atau proteksi serta kurangnya daya cadangan pada pembangkitan.

Penyimpangan frekuensi yang terjadi mempengaruhi besarnya tegangan yang dapat berubah secara signifikan. Saat kondisi *islanding* dengan mekanisme *underfrequency load shedding* untuk melepas bebannya, perubahan tegangan yang terjadi sangat besar. Apabila nilai tegangan yang berubah persentasenya lebih besar dibanding dengan persentase perubahan frekuensinya, maka akan terjadi ketidakseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan beban. Keseimbangan antara daya yang dibangkitkan dengan beban harus dijaga agar tidak terjadi lepasnya generator dari sistem.

Kestabilan frekuensi dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu jangka panjang dan jangka pendek. Contoh fenomena jangka pendek untuk kestabilan frekuensi adalah pada pembentukan *undergenerated island* dengan pelepasan beban *underfrequency* yang tidak mencukupi, sehingga frekuensi menurun secara tiba-tiba dan menyebabkan sistem mati total dalam durasi beberapa detik [3]. Sedangkan kestabilan frekuensi jangka panjang biasanya disebabkan oleh kontrol governor tidak bekerja ketika terdapat gangguan. Rentang waktu fenomena jangka panjang yaitu puluhan detik hingga beberapa menit [3].

2.3 Pengaturan Frekuensi

Pada suatu sistem kelistrikan nilai frekuensinya sangat bergantung dengan putaran turbin yang ada pada suatu pembangkit. Maka dari itu, untuk memperoleh nilai frekuensi yang konstan pada suatu sistem kelistrikan putaran turbin harus dijaga konstan. Putaran turbin pada pembangkit dilakukan dengan menggunakan *speed governor* untuk menjaga nilai frekuensi pada suatu sistem. Berikut ini merupakan gambar skema kerja *speed governor* yang direpresentasikan dengan diagram blok sebagai berikut. Gambar 2.2 berikut merupakan blok diagram sederhana yang menggambarkan cara kerja *speed governor* [3].



Gambar 2.2 Blok Diagram Kerja *Speed Governor*

Keterangan gambar 2.2:

- T_m = torsi mekanik
- P_m = daya mekanik
- T_e = torsi elektrik
- P_e = daya elektrik
- P_L = Daya beban

Kinerja dari *governor* terkait dengan daya aktif (P) pada sistem. Suplai daya aktif pada sistem harus sesuai dengan kebutuhan beban dari sistem agar nilai frekuensi tetap dalam batas yang diijinkan sesuai dengan standar yang digunakan. Kebutuhan daya aktif dengan suplai daya aktif disesuaikan dengan cara mengatur kopel mekanis untuk memutar generator, pengaturan tersebut dilakukan dengan mengatur pemberian bahan bakar. Hal tersebut dilakukan dengan cara mengatur buka-tutup katup bahan bakar. Saat terjadi penurunan frekuensi pada sistem maka *governor* akan menambah input bahan bakar, sedangkan saat terjadi peningkatan frekuensi pada sistem maka *governor* akan mengurangi input bahan bakar. *Governor* memiliki dua mode kerja yaitu *isochronous* dan *droop*.

2.3.1 Mode Droop

Pada mode kerja *droop* memiliki nilai *set point* pada *governor* yang disesuaikan dengan rating generator atau disesuaikan dengan kebutuhan. Pengaturan pada *governor* tersebut menyebabkan nilai keluaran daya listrik pada generator akan tetap, sehingga putaran turbin tetap meskipun terdapat perubahan kondisi beban.

2.3.2 Mode *Isochronous*

Pada mode kerja *isochronous*, nilai *set point* pada *governor* dibuat menyesuaikan dengan kebutuhan daya pada sistem. Daya mekanik turbin akan disesuaikan oleh *governor* untuk disesuaikan dengan daya listrik yang dibutuhkan oleh sistem. Sehingga saat terjadi perubahan beban pada sistem maka *governor* akan menentukan *set point* yang baru sesuai kebutuhan beban yang sebenarnya. Hal ini dapat menjaga sistem agar tetap berada pada kondisi frekuensi sesuai dalam batas yang diizinkan.

2.4 Standar yang Berkaitan dengan Kestabilan Transien

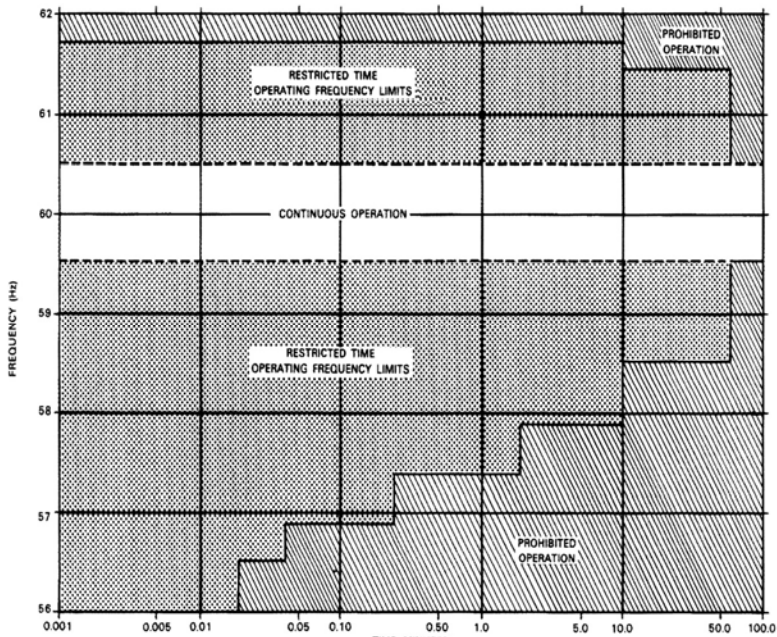
2.4.1 Standar Frekuensi

Standar yang digunakan untuk menentukan operasi frekuensi yaitu IEEE Std.106-1987 untuk diizinkan pada steam turbine generator dengan frekuensi sistem 60 Hz. Dalam tugas akhir ini sistem tenaga listrik menggunakan frekuensi 50 Hz sehingga perlu mengubah satuan pada standar dalam bentuk persen agar dapat digunakan untuk frekuensi 50 Hz. Berdasarkan referensi [4], frekuensi kerja yang diperbolehkan menurut standar IEEE Std.106-1987 ditunjukkan pada Gambar 2.3

Keterangan dari tiga daerah operasi pada Gambar 2.3, yaitu:

- *Restricted time operating frequency limits*, merupakan daerah frekuensi kerja yang masih diperbolehkan namun bersifat sementara berdasarkan nilai frekuensi dan waktunya. Jika frekuensi operasinya terlalu kecil ataupun terlalu besar maka waktu yang diperbolehkan semakin singkat
- *Prohibited operation*, merupakan daerah frekuensi yang dilarang, frekuensi kerja tidak diperbolehkan berada pada daerah tersebut.
- *Continuous operation*, adalah daerah frekuensi normal, yaitu daerah frekuensi kerja yang diperbolehkan.

Daerah *continuous operation* berada pada rentang 59,5-60,5 Hz, atau jika di representasikan dalam persentase yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.



Gambar 2.3 Standar Frekuensi Untuk Steam Turbine

2.4.2 Metode Pelepasan Beban

Berdasarkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 terdapat dua skema pelepasan beban, yakni skema pelepasan beban 3 langkah dan 6 langkah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 [4].

Tabel 2.1 Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah

Langkah	Titik Trip Frekuensi(Hz)	Persentase Beban yang dilepas (%)	Waktu Tunda (Cycles) pada relay
1	59,3	10	6
2	58,9	15	6
3	58,5	<i>As required to arrest decline before 58,2 Hz</i>	

Tabel 2.2 Skema Pelepasan Beban Enam Langkah

Langkah	Titik Trip Frekuensi(Hz)	Persentase Beban yang dilepas (%)	Waktu Tunda (Cycles) pada relay
1	59,5	10	6
2	59,2	10	6
3	58,8	5	6
4	58,8	5	14
5	58,4	5	14
6	58,4	5	21

Pada tugas akhir ini menggunakan frekuensi sistem 50 Hz sedangkan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 menggunakan frekuensi 60 Hz. Perlu pengubahan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 dalam bentuk persen sehingga dapat digunakan untuk frekuensi 50 Hz.

Tabel 2.3 Konversi Skema Pelepasan Beban Tiga Langkah pada Sistem 50Hz

Langkah	Titik Trip Frekuensi (Hz)		%	Persentase Beban yang dilepas (%)	Waktu Tunda (Cycles) pada Relay
	Sistem 60 (Hz)	Sistem 50 (Hz)			
1	59.3	49.41	98.83	10	6
2	58.9	49.08	98.16	15	6
3	58.5	48.75	97.5	Sesuai kebutuhan untuk menahan penurunan sebelum 58,2 Hz (97%)	

2.4.3 Standar Tegangan

Standar yang digunakan untuk kedip tegangan adalah standar IEEE 1159-2009 yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 [5]. Pada tabel tersebut terdapat beberapa macam definisi jenis tegangan yang diklasifikasikan berdasarkan *magnitude* atau besar tegangannya dengan durasi dari tegangannya. Untuk nilai tegangan dalam durasi singkat terdapat *voltage dip* yaitu penurunan tegangan sesaat dan *voltage swell* yaitu kenaikan tegangan sesaat.

Tabel 2.4 Definisi *Voltage Magnitude Event* Berdasarkan Standar IEEE 1159-2009

No	Kategori	Durasi	Besar Tegangan
A	Tegangan RMS durasi singkat :		
1	Instantaneous :		
	Dip	0,5 – 30 cycles	0,1 – 0,9 pu
	Swell	0,5 – 30 cycles	1,1 – 1,8 pu
2	Momentary :		
	Interruption	0,5 cycles – 3s	< 0,1 pu
	Dip	30 cycles – 3 s	0,1 – 0,9 pu
	Swell	30 cycles – 3 s	1,1 – 1,4 pu
3	Temporary :		
	Interruption	> 3s – 1 min	< 0,1 pu
	Dip	> 3s – 1 min	0,1 – 0,9 pu
	Swell	> 3s – 1 min	1,1 – 1,2 pu
B	Tegangan RMS durasi lama :		
	Interruption	> 1 min	0,0 pu
	Undervoltages	> 1 min	0,8 – 0,9 pu
	Overvoltages	> 1 min	1,1 – 1,2 pu

Pada Tabel 2.4 batas nilai kedip tegangan yang diijinkan adalah 10%. Untuk *instantaneous* selama 30 *cycle*, *momentary* selama 3 detik, dan *temporary* selama 1 menit.

Standar PLN digunakan dalam kondisi normal untuk tegangan nominal, yakni:

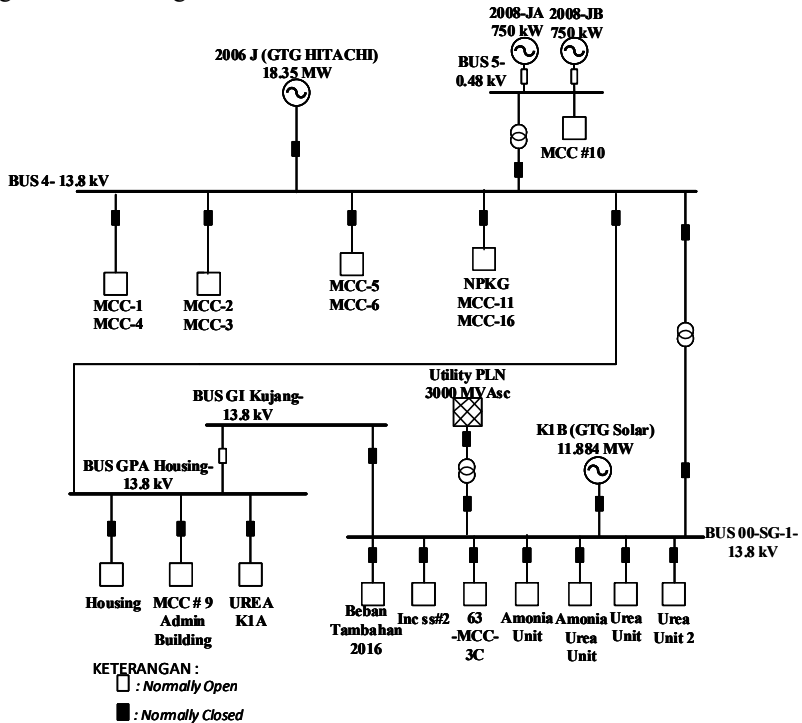
- 500 kV + 5%, -5%
- 150 kV + 5%, -10%
- 70 kV + 5%, -10%
- 20 kV + 5%, -10%

BAB 3

SISTEM KELISTRIKAN DI PT. PUPUK KUJANG

3.1 Sistem Kelistrikan di PT. Pupuk Kujang

Proses produksi yang dilakukan di proses pupuk kujang tentunya di suplai oleh suatu sistem kelistrikan yang andal agar proses produksi berjalan dengan baik. Sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang di suplai oleh satu buah generator dengan kapasitas 18,35 MW dan *utility* dari PLN. Saat ini terdapat rencana pengoperasian kembali generator dengan kapasitas 11,884 MW pada sistem kelistrikan PT. Pupuk Kujang. Sehingga, saat ini sistem kelistrikan di suplai dua buah generator dan *utility* dari PLN. Sistem kelistrikan secara lengkap dapat dilihat pada gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Single Line Diagram PT. Pupuk Kujang

3.2 Data Kelistrikan di PT. Pupuk Kujang

Secara keseluruhan sistem kelistrikan yang ada di PT. Pupuk Kujang memiliki data jumlah total pembangkitan, pembebanan, dan kebutuhan daya seperti yang disajikan dalam tabel 3.1 sebagai berikut.

Tabel 3.1 Data Total Pembangkitan, Pembebanan, dan Kebutuhan Daya

Keterangan	MW	MVA _r	MVA	%PF
<i>Source (Swing bus)</i>	6,318	5,288	8,256	76,67 lag
<i>Source (non-swing Bus)</i>	11,5	7,125	13,528	85,00 lag
<i>Total demand</i>	17,816	12,414	21,714	82,04 lag
<i>Total Motor Load</i>	10,022	6,684	12,046	83,19 lag
<i>Total Static Load</i>	0,394	0,295	0,492	80,04 lag
<i>Apparent Losses</i>	0,186	0,776	0,798	

3.2.1 Sistem Pembangkitan di PT. Pupuk Kujang

Sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang di suplai dengan dua buah generator utama dengan spesifikasi yang disajikan pada tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Data Spesifikasi Generator

Spesifikasi	2006 J (GTG Hitachi)	K1B (GTG Solar)
Rating (MW)	18,35	11,884
Daya mampu (MW)	14,68	9,5
Tegangan (kV)	13,8	13,8
Frekuensi (Hz)	50	50
Kecepatan (rpm)	3000	3000
PF (%)	85	80
FLA (A)	903,2	621,5
Tipe <i>Exciter</i>	ST-1	ST-1
Tipe <i>Governor</i>	2301	2301
<i>Inertia</i>	1,2	1,2
<i>Damping</i>	0	0

3.2.2 Transformator di PT. Pupuk Kujang

Sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang dibagi atas beberapa nilai level tegangan yang berbeda. Oleh karena itu dibutuhkan transformator untuk merubah level tegangan sesuai kebutuhan dari peralatan listrik yang ada. Berikut ini merupakan data spesifikasi transformator yang ada di sistem kelistrikan PT. Pupuk Kujang.

Tabel 3.3 Data Spesifikasi Transformator

ID	Tegangan	Kapasitas	%Z	Hubungan
00-TR-2	13,8 / 2,4 kV	6 MVA	4,5	delta/wye
61-TR-3	13,8 / 0,4 kV	1,25 MVA	5	delta/wye
62-TR-3A	13,8 / 0,4 kV	1,6 MVA	6,3	delta/wye
62-TR-3B	13,8 / 0,4 kV	1,6 MVA	6,5	delta/wye
63-TR-2	13,8 / 2,4 kV	6 MVA	4,5	delta/wye
63-TR-3A	13,8 / 0,4 kV	1,6 MVA	6,5	delta/wye
63-TR-3B	13,8 / 0,4 kV	1,6 MVA	6,5	delta/wye
63-TR-3C	13,8 / 0,4 kV	1 MVA	5,75	delta/wye
T4	13,8 / 13,8 kV	10 MVA	3,1	delta/wye
T9	150 / 13,8 kV	20 MVA	9,5	wye/wye
T18	13,8 / 0,38 kV	0,63 MVA	5,75	delta/wye
T20	13,8 / 0,38 kV	0,63 MVA	5,75	delta/wye
T21	13,8 / 0,38 kV	0,63 MVA	5,75	delta/wye
T23	13,8 / 0,38 kV	0,63 MVA	5,75	delta/wye
T24	13,8 / 0,38 kV	0,63 MVA	5,75	delta/wye
T25	13,8 / 0,38 kV	0,63 MVA	5,75	delta/wye
TOYO Transf.2	2,3 / 0,48 kV	2,5 MVA	8,24	delta/wye
TR X-LAMELA/ANCO	0,44 / 0,23 kV	0,25 MVA	4,8	delta/wye
TR-1	13,8 / 0,48 kV	1,25 MVA	9	delta/wye
TR-2	13,8 / 0,48 kV	1,25 MVA	9	delta/wye
TR3	13,8 / 2,4 kV	2,5 MVA	5,5	delta/wye
TR-4	13,8 / 2,4 kV	2,5 MVA	5,5	delta/wye
TR-5	13,8 / 0,48 kV	1,25 MVA	9	delta/wye
TR-6	13,8 / 0,48 kV	1,25 MVA	9	delta/wye
TR-8	13,8 / 2,4 kV	7,5 MVA	5,53	delta/wye
TR-9	13,8 / 0,48 kV	1,25 MVA	9,13	delta/wye

Tabel 3.4 Data Spesifikasi Transformator (lanjutan)

ID	Tegangan	Kapasitas	%Z	Hubungan
TR-10	0,48 / 13,8 kV	3,75 MVA	5,75	delta/wye
TR-11	13,8 / 0,48 kV	1,25 MVA	9	delta/wye
TR-14	13,8 / 0,38 kV	1 MVA	5,75	delta/wye
TR-15	13,8 / 0,48 kV	1,25 MVA	9	delta/wye
TR-16	13,8 / 0,38 kV	0,5 MVA	5,75	delta/wye
TR-18	13,8 / 0,38 kV	0,5 MVA	8	delta/wye

3.2.3 Data Kabel di PT. Pupuk Kujang

Pada sistem kelistrikan yang ada di PT. Pupuk Kujang terdapat kabel-kabel yang menjadi penghubung antara suplai dengan beban-beban yang ada. Berikut ini merupakan data spesifikasi kabel yang ada di PT. Pupuk Kujang.

Tabel 3.5 Data Spesifikasi Kabel

ID	Tegangan	Panjang	Tipe
F2	15 kV	840 m	1 - 3/C 70
F2'	15 kV	840 m	1 - 3/C 70
F2'A	15 kV	20 m	1 - 3/C 70
F2'B	15 kV	1107 m	1 - 3/C 70
F2'C	15 kV	20 m	1 - 3/C 70
F3	15 kV	381 m	1 - 3/C 240
F4	15 kV	325 m	1 - 3/C 70
F4-A	15 kV	375 m	1 - 3/C 70
F-5	15 kV	321 m	1 - 3/C 70
F5A	15 kV	375 m	1 - 3/C 70
F6A	15 kV	35 m	1 - 3/C 240
F6B	15 kV	535 m	1 - 3/C 240
F7A	15 kV	375 m	1 - 3/C 240
F7B	15 kV	760 m	1 - 3/C 240
F9	15 kV	8 m	1 - 3/C 70
F11	15 kV	105 m	3 - 3/C 240

Tabel 3.6 Data Spesifikasi Kabel (lanjutan)

ID	Tegangan	Panjang	Tipe
2003 K	0,6 kV	330 m	1 - 3/C 120
Cable4	3,3 kV	145 m	1 - 3/C 25
Cable6	3,3 kV	125 m	1 - 3/C 25
Cable11	3,3 kV	160 m	1 - 3/C 25
Cable12	3,3 kV	140 m	1 - 3/C 25
Cable13	3,3 kV	120 m	2 - 3/C 120
Cable14	3,3 kV	260 m	1 - 3/C 25
Cable15	3,3 kV	385 m	1 - 3/C 50
Cable50	3,3 kV	120 m	1 - 3/C 185
Cable490	0,6 kV	212 m	1 - 3/C 6
Cable492	0,6 kV	213 m	1 - 3/C 6
Cable494	0,6 kV	96 m	1 - 3/C 6
Cable495	0,6 kV	116 m	1 - 3/C 25
Cable497	0,6 kV	116 m	1 - 3/C 25
Cable498	0,6 kV	185 m	1 - 3/C 95
Cable500	0,6 kV	96 m	1 - 3/C 6
Cable501	0,6 kV	184 m	1 - 3/C 95
Cable503	0,6 kV	183 m	1 - 3/C 95
Cable505	0,6 kV	82 m	1 - 3/C 6
Cable507	0,6 kV	81 m	1 - 3/C 6
Cable510	0,6 kV	77 m	1 - 3/C 6
Cable511	0,6 kV	77 m	1 - 3/C 6
Cable513	0,6 kV	124 m	1 - 3/C 6
Cable515	0,6 kV	280 m	1 - 3/C 6
Cable516	0,6 kV	155 m	1 - 3/C 10
Cable518	0,6 kV	155 m	1 - 3/C 10
Cable519	0,6 kV	80 m	1 - 3/C 6

3.2.4 Data Motor di PT. Pupuk Kujang

Pada sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang memiliki mayoritas beban berupa motor induksi untuk menunjang proses produksi yang ada. Berikut ini merupakan data spesifikasi motor-motor yang ada di PT. Pupuk Kujang.

Tabel 3.7 Data Spesifikasi Motor

ID	Jenis	Rating Daya	Rating Tegangan (kV)	% PF
101 BJT	Induction	1.5 HP	0.44	82.01
101-J/LO	Induction	55 kW	0.44	80
101-LJM	Induction	190 kW	0.44	80
102-U1	Induction	1 HP	0.44	80
102-U2	Induction	1 HP	0.44	80
102-U3	Induction	1 HP	0.44	80
102-U4	Induction	1 HP	0.44	80
103-J/LOM	Induction	75 HP	0.44	80
103-J/SO	Induction	50 HP	0.44	80
104-J/LO	Induction	2 HP	0.44	80
204-JCM	Induction	400 HP	2.3	80
2003-JA2	Induction	375 kW	2.3	92,09
2004-JEM	Induction	400 HP	2.3	91,99
2204-U1	Induction	150 kW	2.4	80
2204-U2	Induction	200 HP	2.4	80
2204-U3	Induction	150 kW	2.4	80
2204-U4	Induction	200 HP	2.4	80
2204-U5	Induction	150 kW	2.4	80
A-101-BJ3AM	Induction	2.2 kW	0.38	78,24
A-101-BJ3BM	Induction	2.2 kW	0.38	78,24
A-101-BJ3CM	Induction	2.2 kW	0.38	78,24
A-101-BJ3DM	Induction	2.2 kW	0.38	78,24
A-101-BJ3EM	Induction	2.2 kW	0.38	78,24

Tabel 3.8 Data Spesifikasi Motor (Lanjutan)

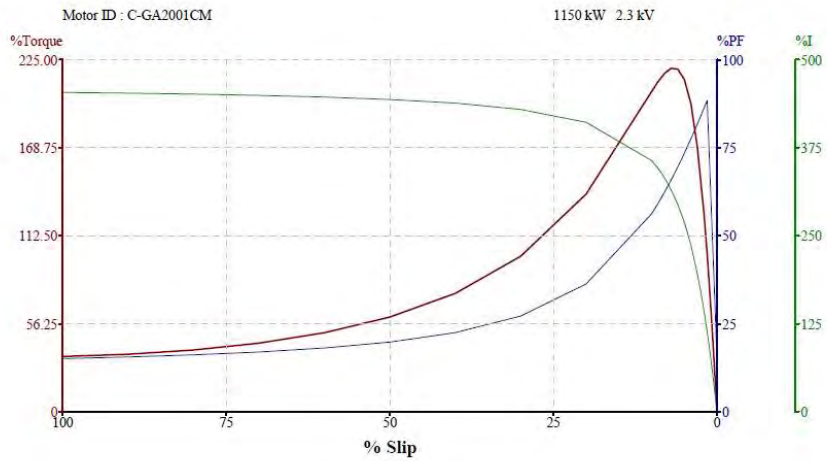
ID	Jenis	Rating Daya	Rating Tegangan (kV)	% PF
C-GA2001CM	Induction	1150 kW	2.3	79,81
C-GB2001AM	Induction	132 kW	0.38	91
C-GB2001BM	Induction	132 kW	0.38	91
C-GB2001CM	Induction	132 kW	0.38	91
C-GB2001DM	Induction	132 kW	0.38	91
C-GB2001EM	Induction	132 kW	0.38	91
C-GB2001FM	Induction	132 kW	0.38	91
C-GB2101AM	Induction	150 kW	0.38	91
A-106-LJM	Induction	0.37 kW	0.38	89

3.2.5 Data Motor Terbesar di PT. Pupuk Kujang

Pada sistem kelistrikan di PT. Pupuk Kujang terdapat satu unit motor induksi C-GA2001CM dengan kapasitas 1150 kW pada level tegangan 2,3 kV. Motor tersebut merupakan motor dengan kapasitas terbesar yang ada di PT. Pupuk Kujang. Berikut ini merupakan data spesifikasi motor C-GA2001CM.

Tabel 3.9 Data Karakteristik Motor C-GA2001CM Saat Starting

Karakteristik	Setting
<i>Locked Rotor Current (LRC)</i>	587,7 A
PF	21,69 %
0,5 Cycle Xsc	17,015%
1,5-4 Cycle Xsc	25,523%
X/R	4,501



Gambar 3.2 Kurva Karakteristik Motor C-GA2001CM

BAB 4

ANALISIS KESTABILAN TRANSIEN DI PT. PUPUK KIJANG

4.1 Pemodelan Sistem Kelistrikan

Berdasarkan data-data kelistrikan yang ada di PT. Pupuk Kijang, sistem kelistrikannya dimodelkan dalam *single line diagram* pada *software* ETAP 12.6. Selanjutnya dari pemodelan tersebut akan dilakukan simulasi kestabilan transien pada sistem kelistrikan yang ada di PT. Pupuk Kijang. Simulasi kestabilan transien yang akan dilakukan yaitu simulasi generator lepas dan *utility off*, hubung singkat pada bus, dan penyalan motor.

4.2 Studi Kasus Kestabilan Transien

Simulasi kestabilan transien yang akan dilakukan pada tugas akhir ini meliputi kasus-kasus yang mungkin terjadi dan dapat mengganggu kestabilan dari sistem. Kasus-kasus tersebut antara lain sebagai berikut

1. Generator Lepas/*utility off*: pada kasus ini disimulasikan lepasnya salah satu generator atau lepasnya *utility* dari sistem.
 - a. Operasi 1: Semua sumber yaitu generator GTG-Hitachi, generator K1B Solar dan *utility* PLN berada pada kondisi aktif dengan total daya yang dibangkitkan sebesar 17,816 MW.
 - b. Operasi 2: Kondisi saat generator GTG-Hitachi dalam kondisi tidak aktif. Daya yang dibangkitkan sebesar 17,816 MW.
 - c. Operasi 3: Kondisi saat *utility* PLN dalam kondisi tidak aktif. Daya yang dibangkitkan sebesar 17,816 MW.
 - d. Operasi 4: Kondisi saat generator K1B Solar dalam kondisi tidak aktif. Daya yang dibangkitkan sebesar 17,816 MW
2. Hubung singkat: pada kasus ini disimulasikan kondisi saat gangguan hubung singkat 3-fasa pada bus dengan tiga level tegangan yang berbeda yaitu pada level tegangan 13,8kV yang diwakili Bus Housing, level tegangan 2,4kV yang diwakili Bus 00-MCC-2, dan level tegangan 0,4kV yang diwakili Bus 61-MCC-3.
3. Penyalan motor: pada kasus ini disimulasikan kondisi penyalan motor dengan kapasitas terbesar yang ada di PT.

Pupuk Kujang dengan rating daya 1150kW pada level tegangan 2,3kV yaitu Motor C-GA2001CM.

Tabel 4.1 Studi Kasus Kestabilan Transien

No	Kasus	Operasi Pembangkitan	Keterangan
1	PLN-OFF	1	<i>Utility</i> PLN <i>off</i> dari sistem
	PLN-OFF +LSF-1		Pelepasan beban tahap 1 sebesar 10% dengan frekuensi
	PLN-OFF +LS Status		Pelepasan beban dengan status
2	PLN-OFF	2	<i>Utility</i> PLN <i>off</i> dari sistem
	PLN-OFF +LSF-1		Pelepasan beban tahap 1 sebesar 10% dengan frekuensi
	PLN-OFF +LSF-2		Pelepasan beban tahap 2 sebesar 15% dengan frekuensi
	PLN-OFF +LSF-3		Pelepasan beban tahap 3 dengan frekuensi
	PLN-OFF +LS Status		Pelepasan beban dengan status
3	Gen 1 OFF	3	GTG-Hitachi lepas dari sistem
	Gen 1 OFF +LSF-1		Pelepasan beban tahap 1 sebesar 10% dengan frekuensi
	Gen 1 OFF +LSF-2		Pelepasan beban tahap 2 sebesar 15% dengan frekuensi
	Gen 1 OFF +LSF-3		Pelepasan beban tahap 3 dengan frekuensi
	Gen 1 OFF +LS Status		Pelepasan beban dengan status
4	Gen 2 OFF	3	GTG K1B Solar lepas dari sistem
	Gen 2 OFF +LSF-1		Pelepasan beban tahap 1 sebesar 10% dengan frekuensi
	Gen 2 OFF +LSF-2		Pelepasan beban tahap 2 sebesar 15% dengan frekuensi
	Gen 2 OFF +LSF-3		Pelepasan beban tahap 3 dengan frekuensi
	Gen 2 OFF +LS Status		Pelepasan beban dengan status

Tabel 4.2 Studi Kasus Kestabilan Transien (lanjutan)

No	Kasus	Operasi Pembangkitan	Keterangan
5	PLN-OFF	4	<i>Utility PLN off</i> dari sistem
	PLN-OFF +LSF-1		Pelepasan beban tahap 1 sebesar 10% dengan frekuensi
	PLN-OFF +LSF-2		Pelepasan beban tahap 2 sebesar 15% dengan frekuensi
	PLN-OFF +LS Status		Pelepasan beban dengan status
5	SC 13,8kV	1	Gangguan hubung singkat 3-fasa pada Bus Housing diikuti dengan pembukaan CB sesuai sistem proteksi
6	SC 2,4kV	1	Gangguan hubung singkat 3-fasa pada Bus 00-MCC-2 diikuti dengan pembukaan CB sesuai sistem proteksi
7	SC 0,4kV	1	Gangguan hubung singkat 3-fasa pada Bus 61-MCC-3 diikuti dengan pembukaan CB sesuai sistem proteksi
8	MS	3	Penyalan motor C-GA2001CM secara <i>direct online</i>

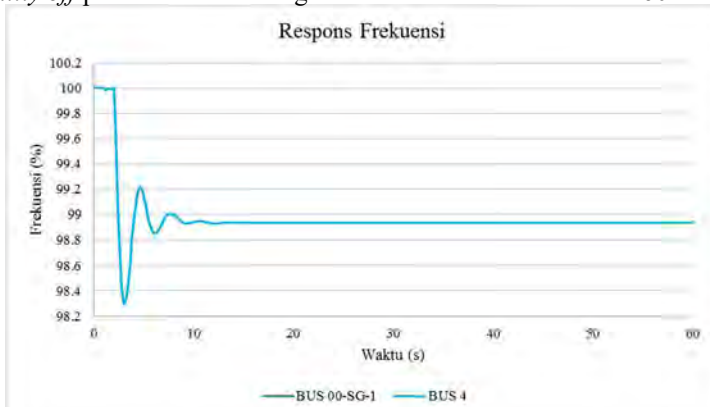
4.3 Hasil Simulasi Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban

Pada sub bab ini akan dilakukan simulasi kestabilan transien dan respons tegangan serta respons frekuensi dari bus saat sistem diberi gangguan sesuai dengan studi kasus yang telah dijelaskan pada sub bab 4.2 sebelumnya.

4.3.1 Studi Kasus *Utility PLN Off* saat Operasi Pembangkitan 1 ($t = 2$ detik)

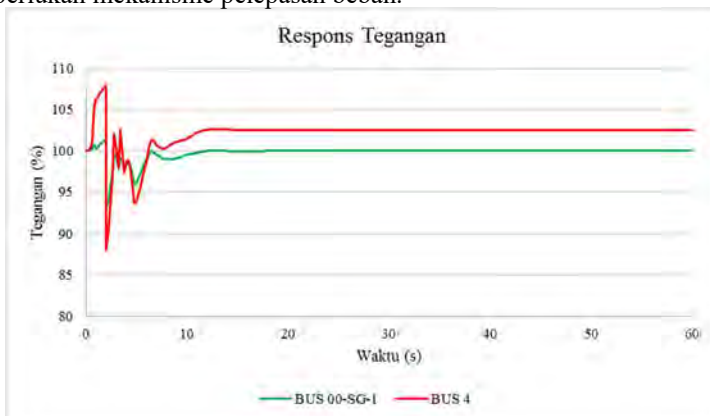
Pada kasus ini disimulasikan *utility PLN off* saat sistem beroperasi dengan operasi pembangkitan semua sumber aktif. Pada pola operasi ini *utility* beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 6,318 MW, sedangkan dua generator yang lain beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 6,5 MW untuk GTG-

Hitachi dan 5 MW untuk GTG K1B Solar. Dalam kasus ini disimulasikan *utility off* pada $t = 2$ detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik.



Gambar 4.1 Respons Frekuensi saat *utility* PLN *off* dari sistem

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.1, saat *utility off* pada $t = 2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 98,304%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 98,963%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi masih belum pada batas standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%, maka diperlukan mekanisme pelepasan beban.



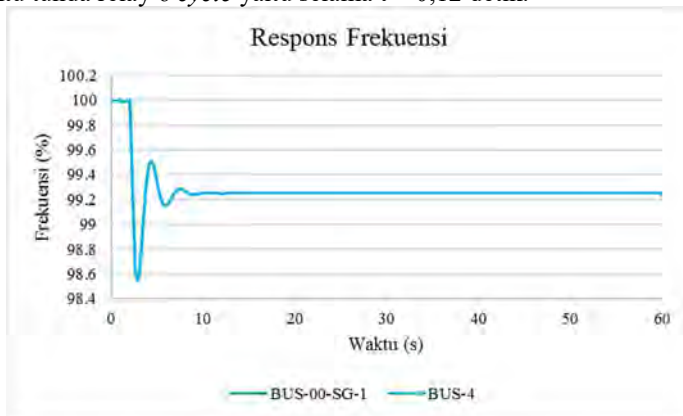
Gambar 4.2 Respons Tegangan Saat *Utility Off* dari Sistem

Dari data respons tegangan pada gambar 4.2, saat *utility off* dari sistem pada $t = 2$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 92,83% dan kemudian stabil pada 96,89%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 87,74% dan kemudian stabil pada 99,2%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem masih dalam kondisi aman meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada bus 4.

4.3.1.1 Studi Kasus Utility PLN off Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi

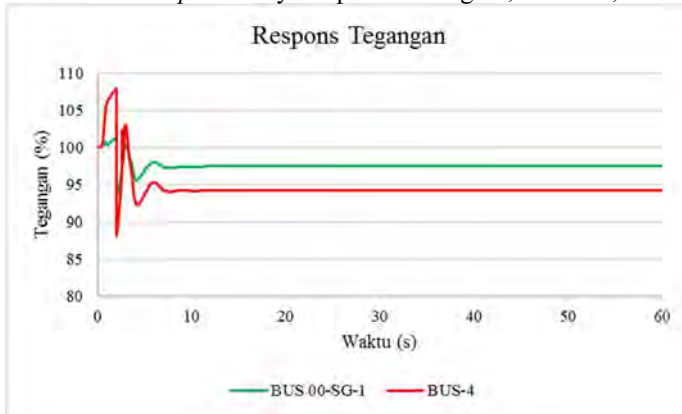
Kondisi saat *utility* PLN *off* dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada sub bab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan frekuensi dengan menggunakan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah).

Pada kasus ini pada pelepasan beban tahap 1, beban yang dilepas yaitu sebesar 10% dari beban total yaitu sebesar (1,7818 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 1,958 MW sesuai data prioritas beban dari PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 1 disimulasikan pada $t = 2,62$ detik dengan rincian pada $t = 2,5$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,83% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 *cycle* yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.3 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.3, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,62$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 98,547%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 99,238%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi masih dalam batas standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.



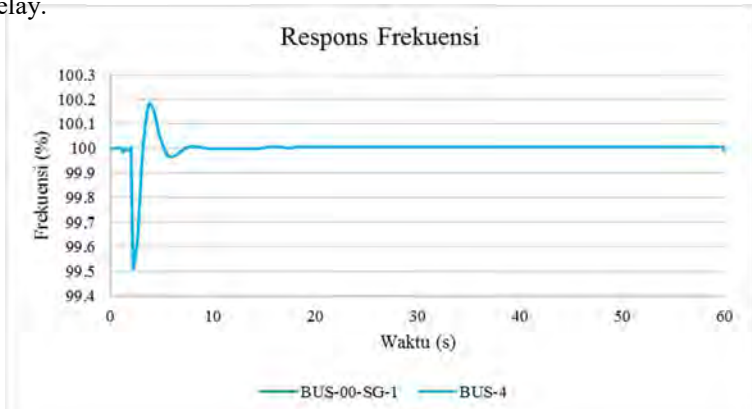
Gambar 4.4 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

Dari data respons tegangan pada gambar 4.4, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,62$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 92,826% dan kemudian stabil pada 95,769%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 87,74% dan kemudian stabil pada 94,32%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem masih dalam kondisi aman meskipun sempat mengalami jatuh tegangan (*dip voltage*) pada bus 4.

4.3.1.2 Studi Kasus Utility PLN off dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status

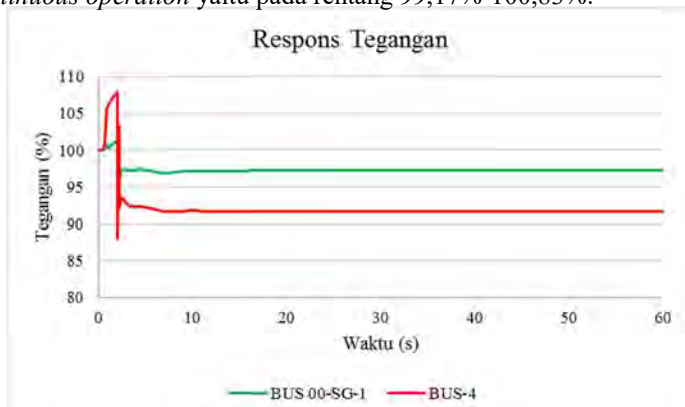
Kondisi sistem saat *utility PLN off* dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada subbab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan status. Pada kasus ini beban yang dilepas yaitu sebesar nilai nominal pembangkitan yang hilang

yaitu sebesar (6,318 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 6,659 MW sesuai data prioritas beban dari PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban dengan status ini disimulasikan pada $t = 2,2$ detik dengan rincian pada $t = 0,2$ detik adalah waktu tunda relay.



Gambar 4.5 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.5, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 99.512%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 100.194%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi masih dalam batas standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

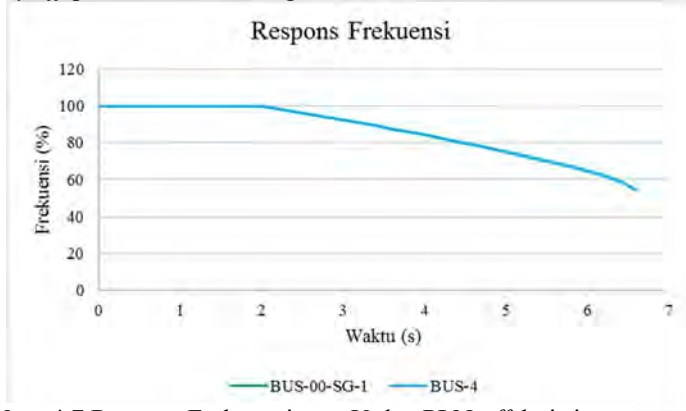


Gambar 4.6 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan Status

Dari data respons tegangan pada gambar 4.6, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 92.826% dan kemudian stabil pada 96.105%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 87.743% dan kemudian stabil pada 91.686%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem masih dalam kondisi aman meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada bus 4.

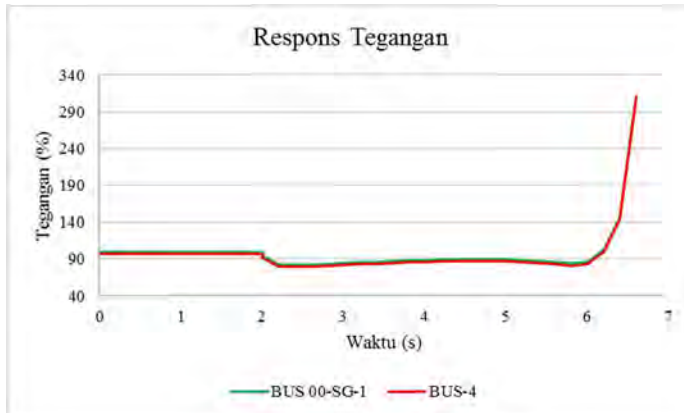
4.3.2 Studi Kasus *Utility PLN Off* dari sistem saat Operasi Pembangkitan 2 ($t = 2$ detik)

Pada kasus ini disimulasikan *utility PLN off* saat sistem beroperasi dengan operasi pembangkitan dua sumber aktif yaitu *utility PLN* dan generator GTG K1B Solar. Pada pola operasi ini *utility* beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 9,355 MW, sedangkan generator GTG K1B Solar beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 8,5 MW. Dalam kasus ini disimulasikan *utility off* pada $t = 2$ detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik



Gambar 4.7 Respons Frekuensi saat *Utility PLN off* dari sistem

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.7, saat *utility off* pada $t = 2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami ketidakstabilan karena frekuensi turun menuju 0%, namun simulasi berhenti saat $t = 6,61$ detik dengan penurunan frekuensi hingga 54,257%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *prohibited operation* menurut standar IEEE Std.106-1987.



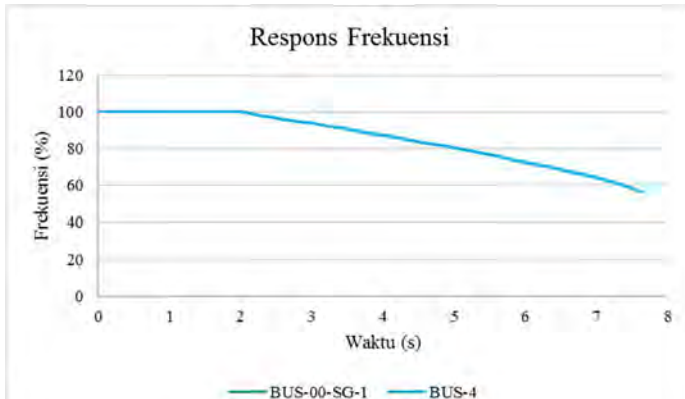
Gambar 4.8 Respons Tegangan Saat *Utility off* dari Sistem

Dari data respons tegangan pada gambar 4.8, saat *utility off* dari sistem pada $t = 2$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan, dimana tegangan kedua bus meningkat tajam menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Hal ini sangat berbahaya bagi sistem, maka dari itu perlu dilakukan upaya pelepasan beban agar sistem dapat kembali stabil.

4.3.2.1 Studi Kasus *Utility PLN off* Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi

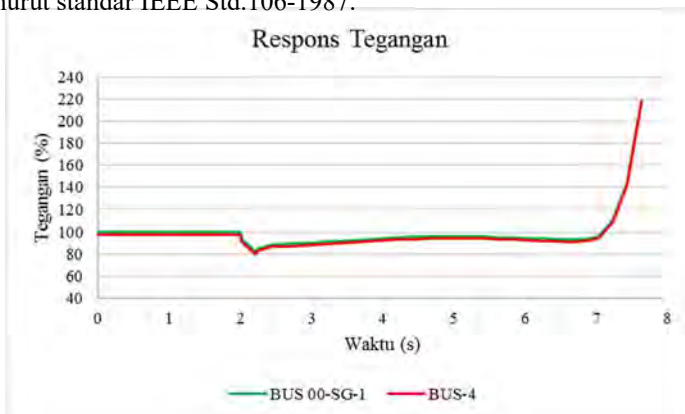
Kondisi saat *utility PLN off* dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada sub bab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan frekuensi dengan menggunakan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah).

Pada kasus ini pada pelepasan beban tahap 1, beban yang dilepas yaitu sebesar 10% dari beban total yaitu sebesar (1,7818 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 1,958 MW sesuai dengan data urutan prioritas beban di PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 1 disimulasikan pada $t = 2,22$ detik dengan rincian pada $t = 2,1$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,83% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 cycle yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.9 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

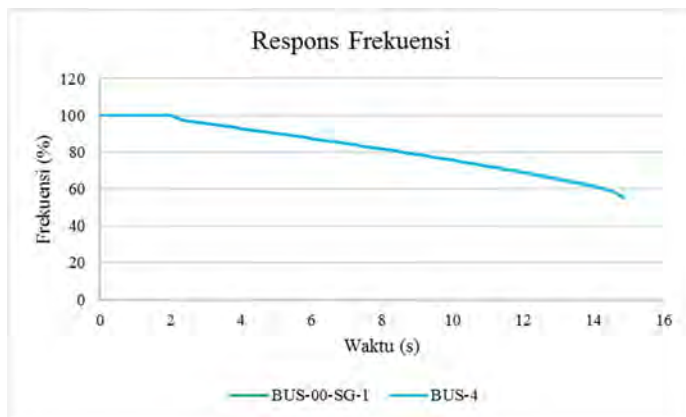
Dari data respons frekuensi pada gambar 4.9, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,22$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami ketidakstabilan karena frekuensi turun menuju 0%, namun simulasi berhenti saat $t = 7,63$ detik dengan penurunan frekuensi hingga 56,34%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori prohibited operation menurut standar IEEE Std.106-1987.



Gambar 4.10 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

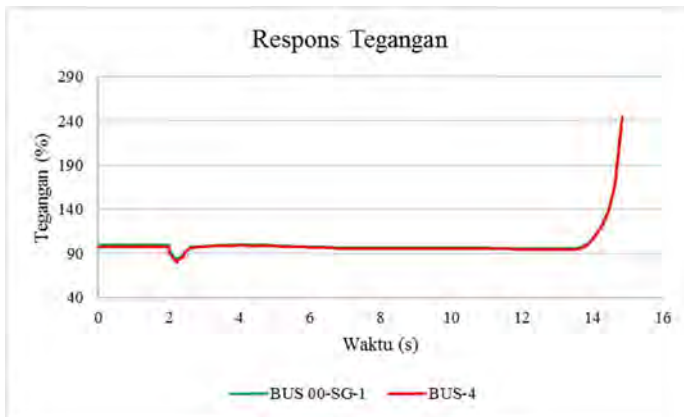
Dari data respons tegangan pada gambar 4.9, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,22$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan, dimana tegangan kedua bus meningkat tajam menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Hal ini sangat berbahaya bagi sistem, maka dari itu perlu dilakukan upaya pelepasan beban tahap selanjutnya agar sistem dapat kembali stabil.

Pada kasus pelepasan beban tahap 2, beban yang dilepas yaitu sebesar 15% dari beban total yaitu sebesar (2,672 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 3,674 MW. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 2 disimulasikan pada $t = 2,42$ detik dengan rincian pada $t = 2,3$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,16% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 *cycle* yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.11 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi

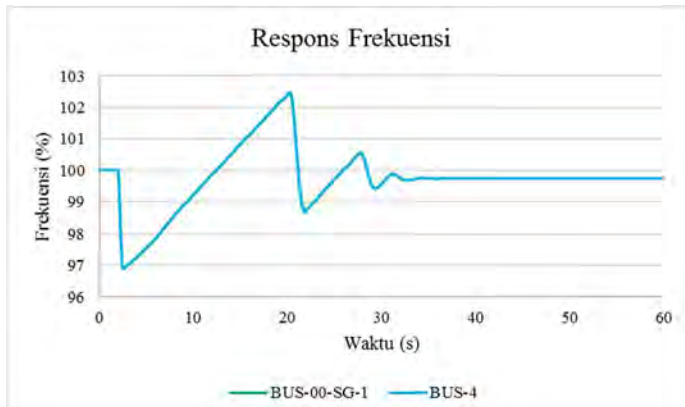
Dari data respons frekuensi pada gambar 4.21, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,42$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami ketidakstabilan karena frekuensi turun menuju 0%, namun simulasi berhenti saat $t = 14,83$ detik dengan penurunan frekuensi hingga 55,691%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *prohibited operation* menurut standar IEEE Std.106-1987.



Gambar 4.12 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi

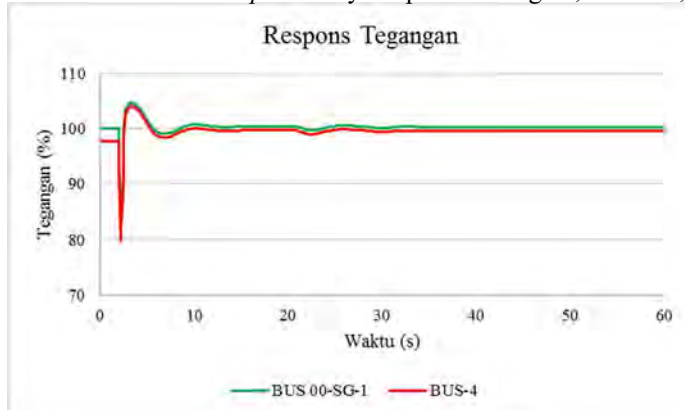
Dari data respons tegangan pada gambar 4.12, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,42$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan, dimana tegangan kedua bus meningkat tajam menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Hal ini sangat berbahaya bagi sistem, maka dari itu perlu dilakukan upaya pelepasan beban tahap selanjutnya agar sistem dapat kembali stabil.

Pada kasus pelepasan beban tahap 3, beban yang dilepas yaitu sebesar kebutuhan sampai sistem kembali stabil. Pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 3,016 MW. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 3 disimulasikan pada $t = 2,47$ detik dengan rincian pada $t = 2,35$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 97,5% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 *cycle* yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.13 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 3 dengan Frekuensi

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.13, saat dilakukan pelepasan beban tahap 3 pada $t = 2,47$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 96.886%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 99.738%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi sudah sesuai standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

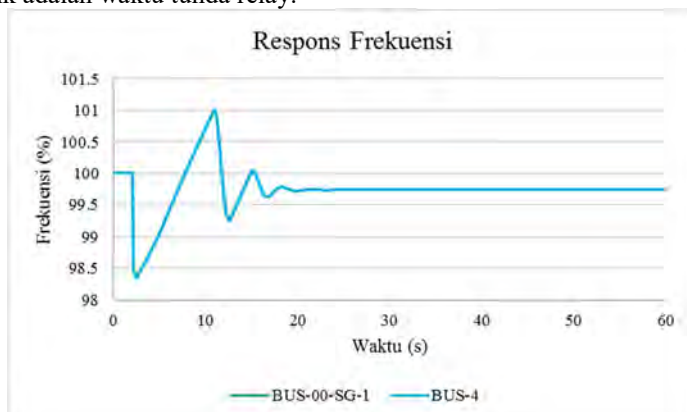


Gambar 4.14 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 3 dengan Frekuensi

Dari data respons tegangan pada gambar 4.14, saat dilakukan pelepasan beban tahap 3 pada $t = 2,47$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 82,623% dan kemudian stabil pada 100,271%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 79,832% dan kemudian stabil pada 99,566%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%.

4.3.2.2 Studi Kasus Utility PLN off Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status

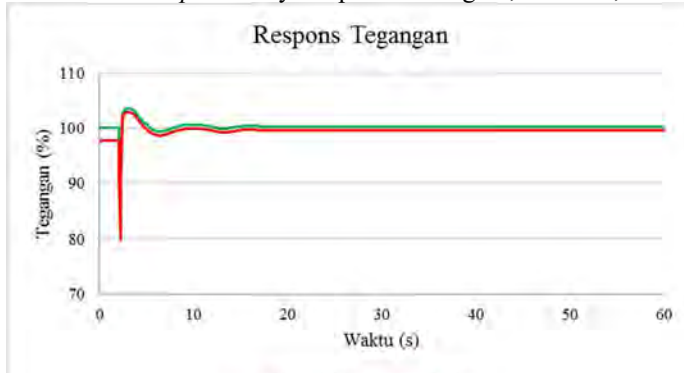
Kondisi sistem saat *utility* PLN off dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada subbab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan status. Pada kasus ini beban yang dilepas yaitu sebesar nilai nominal pembangkitan yang hilang yaitu sebesar (9,335 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 8,648 MW. Waktu simulasi pelepasan beban dengan status ini disimulasikan pada $t = 2,2$ detik dengan rincian pada $t = 0,2$ detik adalah waktu tunda relay.



Gambar 4.15 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.15, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 98,343%.

Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 99,738%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi sudah sesuai dengan batas standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

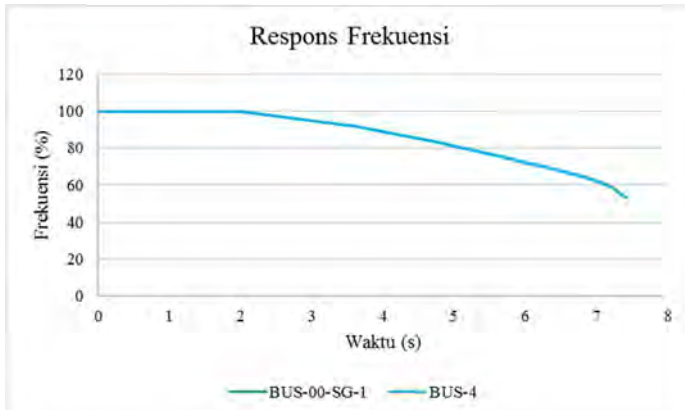


Gambar 4.16 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan status

Dari data respons tegangan pada gambar 4.16, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 82,692% dan kemudian stabil pada 100,271%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 79,902% dan kemudian stabil pada 99,566%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan sudah dalam kondisi operasi normal meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada kedua bus.

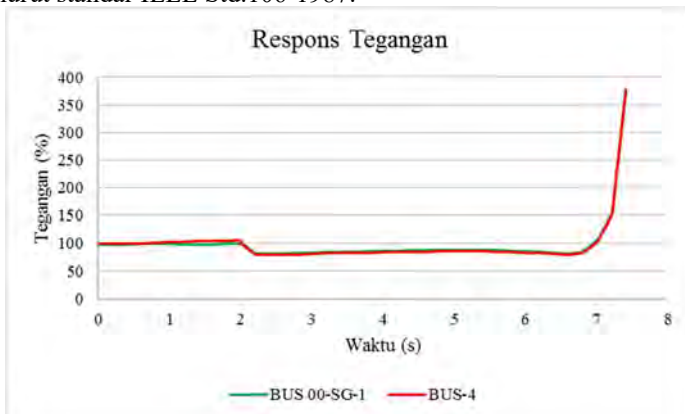
4.3.3 Studi Kasus Generator GTG-Hitachi Lepas dari Sistem saat Operasi Pembangkitan 3 ($t = 2$ detik)

Pada kasus ini disimulasikan GTG-Hitachi lepas dari sistem saat sistem beroperasi dengan operasi pembangkitan dua sumber aktif yaitu generator GTG-Hitachi dan generator GTG K1B Solar. Pada pola operasi ini GTG-Hitachi beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 9,275 MW, sedangkan generator GTG K1B Solar beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 8,5 MW. Dalam kasus ini disimulasikan generator GTG-Hitachi lepas dari sistem pada $t = 2$ detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik



Gambar 4.17 Respons Frekuensi saat GTG-Hitachi Lepas dari Sistem

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.17, saat GTG-Hitachi lepas dari sistem pada $t = 2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami ketidakstabilan karena frekuensi turun menuju 0%, namun simulasi berhenti saat $t = 7,41$ detik dengan penurunan frekuensi hingga 53,258%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *prohibited operation* menurut standar IEEE Std.106-1987.



Gambar 4.18 Respons Tegangan Saat GTG-Hitachi Lepas dari Sistem

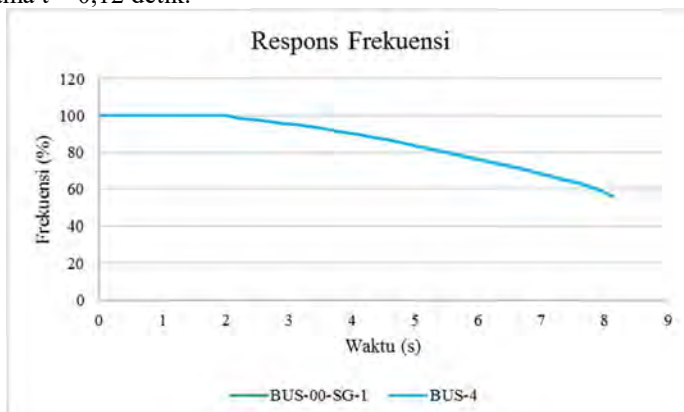
Dari data respons tegangan pada gambar 4.18, saat GTG-Hitachi lepas dari sistem pada $t = 2$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus

mengalami ketidakstabilan, dimana tegangan kedua bus meningkat tajam menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Hal ini sangat berbahaya bagi sistem, maka dari itu perlu dilakukan upaya pelepasan beban agar sistem dapat kembali stabil.

4.3.3.1 Studi Kasus Generator GTG-Hitachi Lepas dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi

Kondisi sistem saat generator GTG-Hitachi lepas dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada subbab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan frekuensi dengan menggunakan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah).

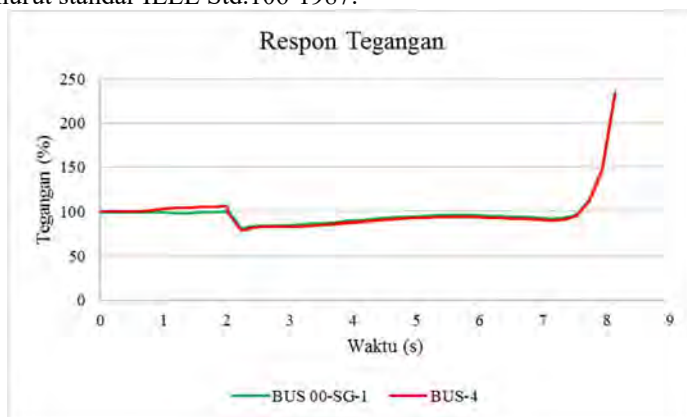
Pada kasus ini pada pelepasan beban tahap 1, beban yang dilepas yaitu sebesar 10% dari beban total yaitu sebesar (1,7818 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 1,958MW. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 1 disimulasikan pada $t = 2,32$ detik dengan rincian pada $t = 2,2$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,83% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 *cycle* yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.19 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.19, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,32$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami

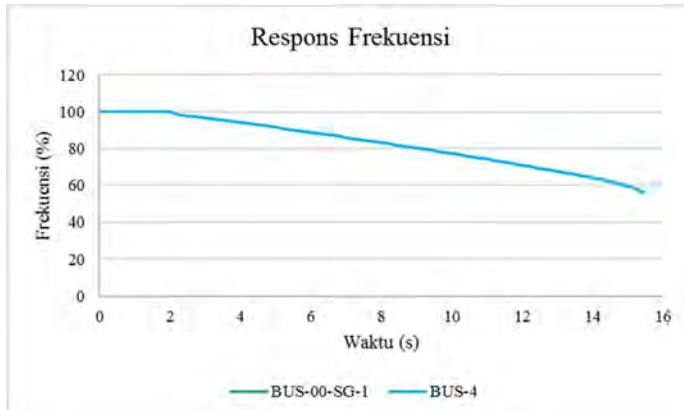
ketidakstabilan karena frekuensi turun menuju 0%, namun simulasi berhenti saat $t = 8,13$ detik dengan penurunan frekuensi hingga 55,909%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *prohibited operation* menurut standar IEEE Std.106-1987.



Gambar 4. 20 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

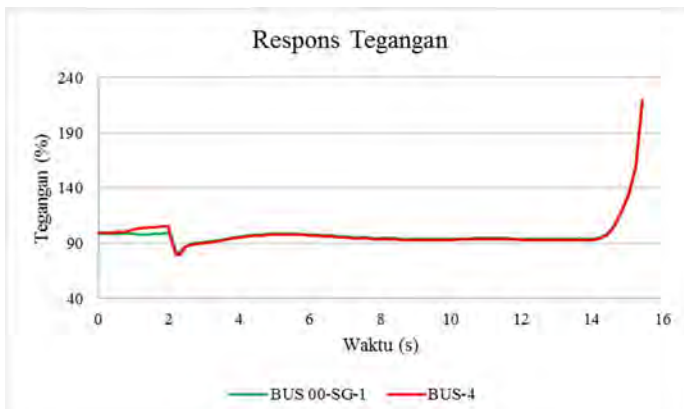
Dari data respons tegangan pada gambar 4.20, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,32$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan, dimana tegangan kedua bus meningkat tajam menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Hal ini sangat berbahaya bagi sistem, maka dari itu perlu dilakukan upaya pelepasan beban tahap selanjutnya agar sistem dapat kembali stabil.

Pada kasus pelepasan beban tahap 2, beban yang dilepas yaitu sebesar 15% dari beban total yaitu sebesar (2,672 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 3,674MW sesuai data prioritas beban dari PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 2 disimulasikan pada $t = 2,42$ detik dengan rincian pada $t = 2,3$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,16% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 cycle yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.21 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi

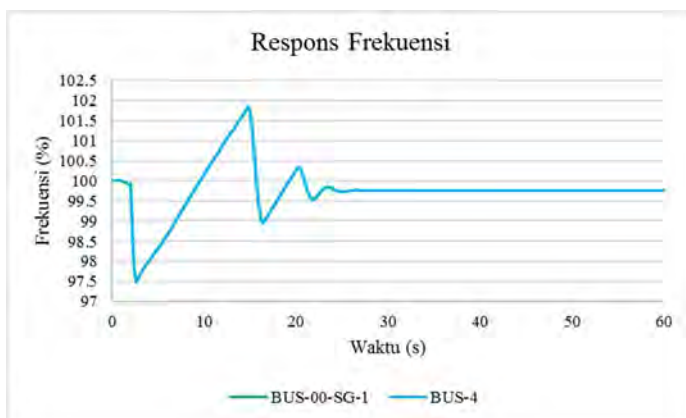
Dari data respons frekuensi pada gambar 4.21, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,42$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami ketidakstabilan karena frekuensi turun menuju 0%, namun simulasi berhenti saat $t = 15,43$ detik dengan penurunan frekuensi hingga 55,792%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *prohibited operation* menurut standar IEEE Std.106-1987.



Gambar 4.22 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi

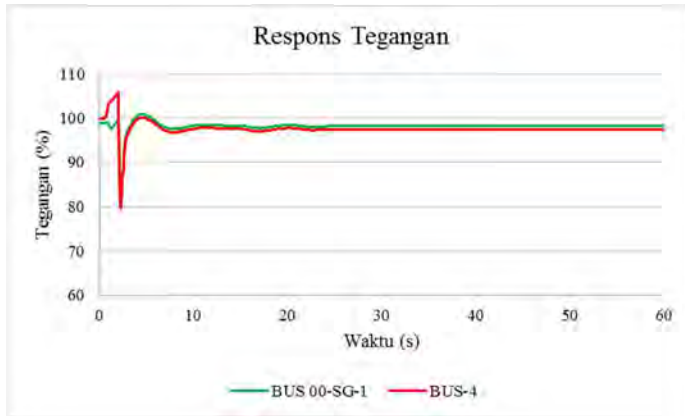
Dari data respons tegangan pada gambar 4.22, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,42$ didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan, dimana tegangan kedua bus meningkat tajam menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Hal ini sangat berbahaya bagi sistem, maka dari itu perlu dilakukan upaya pelepasan beban tahap selanjutnya agar sistem dapat kembali stabil.

Pada kasus pelepasan beban tahap 3, beban yang dilepas yaitu sebesar kebutuhan sampai sistem kembali stabil. Pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 3,016 MW. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 3 disimulasikan pada $t = 2,57$ detik dengan rincian pada $t = 2,45$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 97,5% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 *cycle* yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.23 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 3 dengan Frekuensi

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.23, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,57$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 97,496%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 99,752%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi sudah sesuai standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

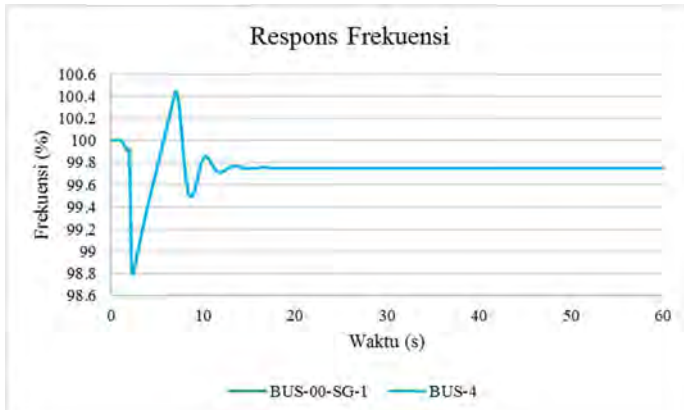


Gambar 4.24 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 3 dengan Frekuensi

Dari data respons tegangan pada gambar 4.24, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,57$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 81,528% dan kemudian stabil pada 98,192%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 79,572% dan kemudian stabil pada 97,4709%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%.

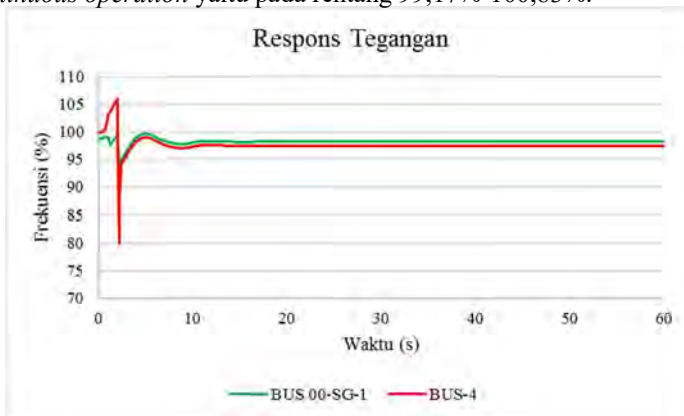
4.3.3.2 Studi Kasus Generator GTG-Hitachi lepas dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status

Kondisi sistem saat generator GTG-Hitachi dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada sub bab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan status. Pada kasus ini beban yang dilepas yaitu sebesar nilai nominal pembangkitan yang hilang yaitu sebesar (9,275 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 8,648 MW sesuai data prioritas beban dari PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban dengan status ini disimulasikan pada $t = 2,2$ detik dengan rincian pada $t = 0,2$ detik adalah waktu tunda relay.



Gambar 4.25 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.25, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 98,975%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 100,828%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi masih dalam batas standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

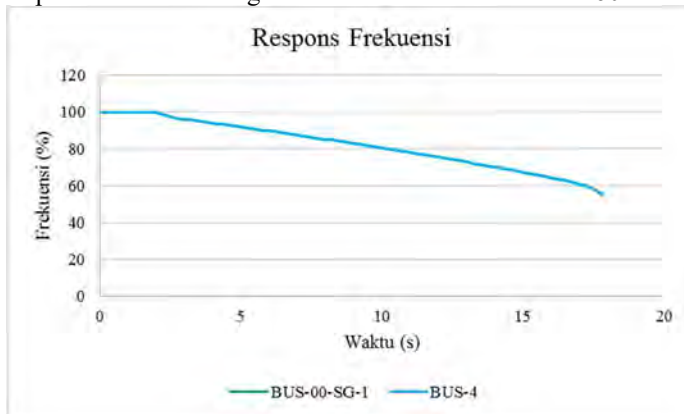


Gambar 4.26 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan status

Dari data respons tegangan pada gambar 4.26, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 80,744% dan kemudian stabil pada 94,74%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 78,856% dan kemudian stabil pada 94,213 %. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%, meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada kedua bus.

4.3.4 Studi Kasus Generator GTG-K1B Solar Lepas dari Sistem saat Operasi Pembangkitan 3 ($t = 2$ detik)

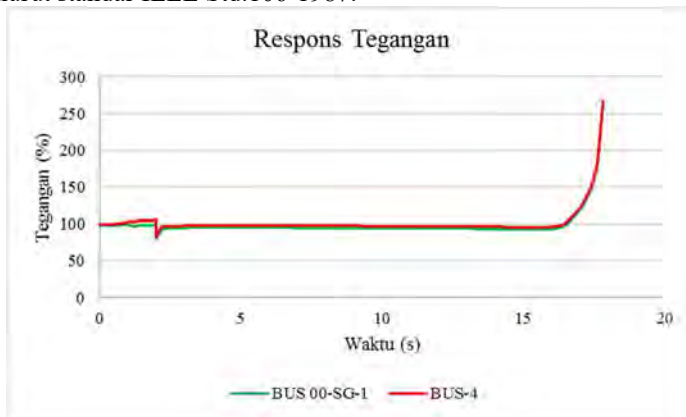
Pada kasus ini disimulasikan GTG-Hitachi lepas dari sistem saat sistem beroperasi dengan operasi pembangkitan dua sumber aktif yaitu generator GTG-Hitachi dan generator GTG K1B Solar. Pada pola operasi ini GTG-Hitachi beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 9,275 MW, sedangkan generator GTG K1B Solar beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 8,5 MW. Dalam kasus ini disimulasikan generator GTG-K1B Solar lepas dari sistem pada $t = 2$ detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik



Gambar 4.27 Respons Frekuensi saat GTG-K1B Solar Lepas dari Sistem

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.27, saat GTG-Hitachi lepas dari sistem pada $t = 2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami ketidakstabilan karena frekuensi turun menuju 0%, namun simulasi

berhenti saat $t = 17,81$ dengan penurunan frekuensi hingga 54,94%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *prohibited operation* menurut standar IEEE Std.106-1987.



Gambar 4.28 Respons Tegangan Saat GTG-K1B Solar lepas dari Sistem

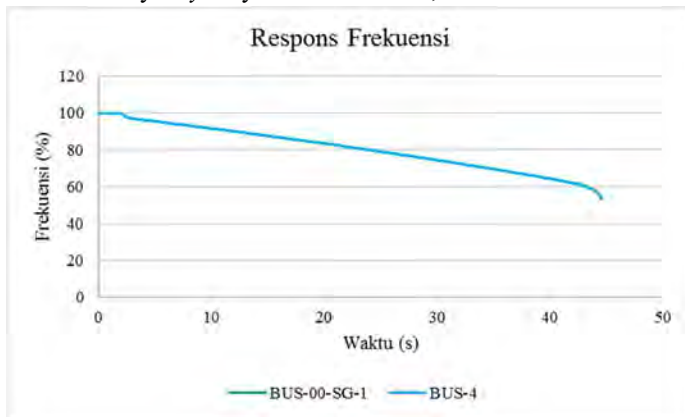
Dari data respons tegangan pada gambar 4.28, saat generator GTG-K1B Solar dari sistem pada $t = 2$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan, dimana tegangan kedua bus meningkat tajam menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Hal ini sangat berbahaya bagi sistem, maka dari itu perlu dilakukan upaya pelepasan beban agar sistem dapat kembali stabil.

4.3.4.1 Studi Kasus Generator GTG-K1B Solar Lepas dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi

Kondisi sistem saat generator GTG-K1B Solar lepas dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada subbab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan frekuensi dengan menggunakan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah).

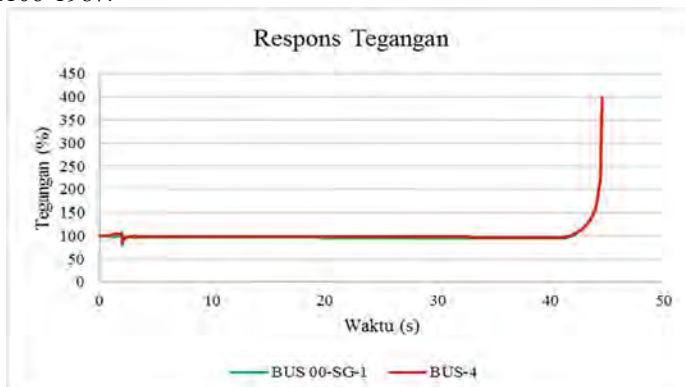
Pada kasus ini pada pelepasan beban tahap 1, beban yang dilepas yaitu sebesar 10% dari beban total yaitu sebesar (1,7818 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 1,958 MW sesuai data prioritas beban dari PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 1 disimulasikan pada $t = 2,32$ detik dengan rincian pada $t = 2,2$ detik

adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,83% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 *cycle* yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.29 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

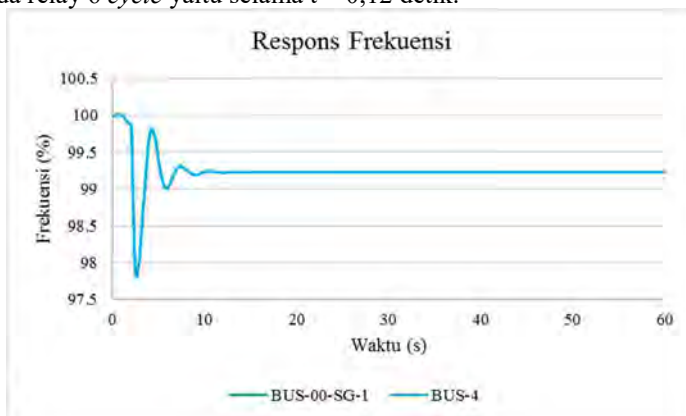
Dari data respons frekuensi pada gambar 4.29, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,32$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan masih mengalami ketidakstabilan frekuensi. Saat dilakukan simulasi, simulasi berhenti pada $t = 44,53$ detik dengan nilai frekuensi 52,849%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *prohibited operation* menurut standar IEEE Std.106-1987.



Gambar 4.30 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

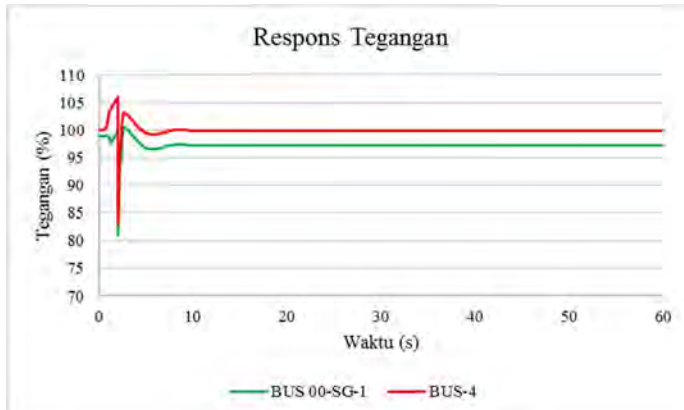
Dari data respons tegangan pada gambar 4.30, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,32$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan dimana nilainya naik menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Kondisi ini merupakan kondisi yang berbahaya bagi sistem. Untuk itu perlu dilakukan mekanisme pelepasan beban tahap 2 sebagai upaya untuk menstabilkan sistem kembali.

Pada kasus pelepasan beban tahap 2, beban yang dilepas yaitu sebesar 15% dari beban total yaitu sebesar (2,672 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 3,674 MW sesuai data prioritas beban dari PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 2 disimulasikan pada $t = 2,42$ detik dengan rincian pada $t = 2,3$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,16% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 *cycle* yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4. 31 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.31, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,42$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 97,806%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 99,224%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi sudah sesuai standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

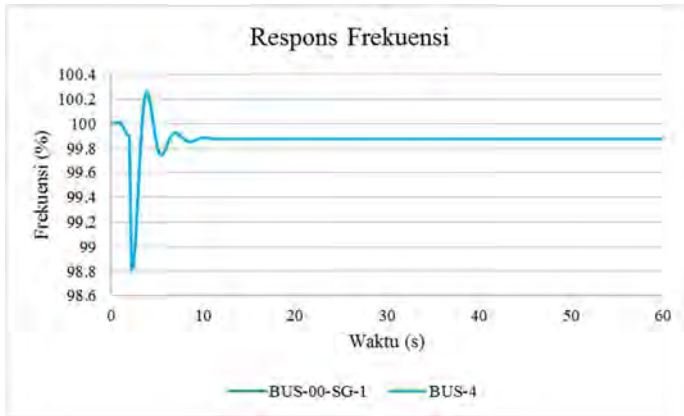


Gambar 4.32 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi

Dari data respons tegangan pada gambar 4.32, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,42$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 80,909% dan kemudian stabil pada 97,188%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 83,059% dan kemudian stabil pada 99,884%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem masih, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%.

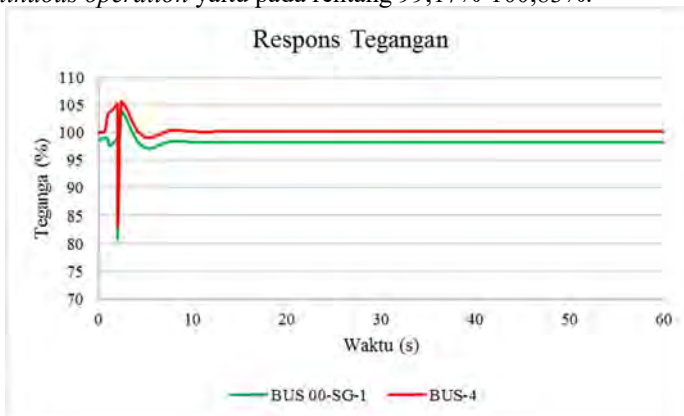
4.3.4.2 Studi Kasus Generator GTG-K1B Solar lepas dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status

Kondisi sistem saat *utility* PLN *off* dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada subbab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan status. Pada kasus ini beban yang dilepas yaitu sebesar nilai nominal pembangkitan yang hilang yaitu sebesar (8,5 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 8,648 MW sesuai data prioritas beban dari PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban dengan status ini disimulasikan pada $t = 2,2$ detik dengan rincian pada $t = 0,2$ detik adalah waktu tunda relay.



Gambar 4.33 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.33, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 98,818%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 99,876%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi masih dalam batas standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

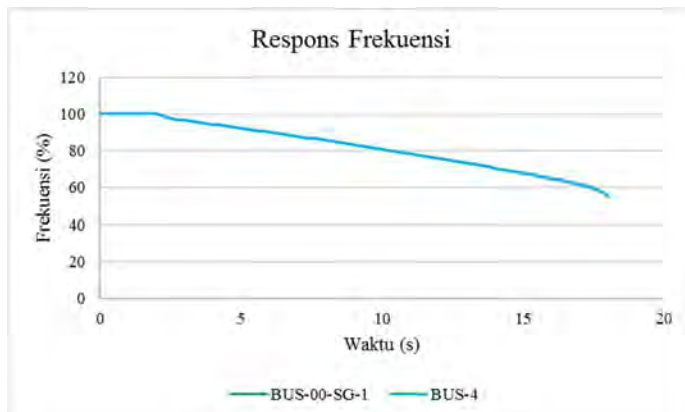


Gambar 4.34 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan status

Dari data respons tegangan pada gambar 4.34, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 80,909% dan kemudian stabil pada 98,241%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 83,059% dan kemudian stabil pada 100,185%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%, meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada kedua bus.

4.3.5 Studi Kasus *Utility PLN Off* dari Sistem saat Operasi Pembangkitan 4 ($t = 2$ detik)

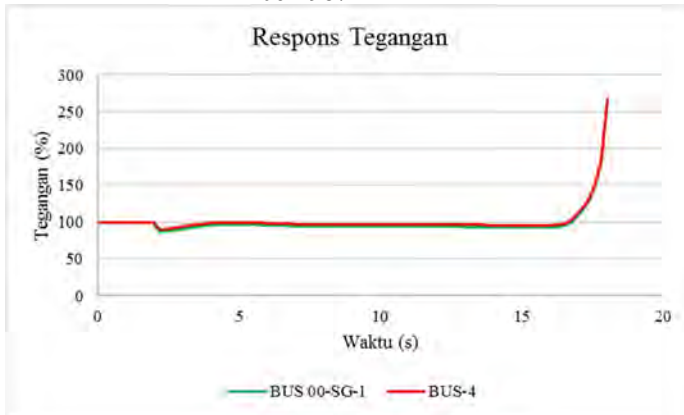
Pada kasus ini disimulasikan *utility PLN off* saat sistem beroperasi dengan operasi pembangkitan dua sumber aktif yaitu *utility PLN* dan generator GTG-Hitachi. Pada pola operasi ini *utility* beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 7,817 MW, sedangkan generator GTG-Hitachi beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 10 MW. Dalam kasus ini disimulasikan *utility off* pada $t = 2$ detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik.



Gambar 4.35 Respons Frekuensi saat *Utility PLN off* dari sistem

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.37, saat *utility off* dari sistem pada $t = 2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami ketidakstabilan karena frekuensi turun menuju 0%, namun simulasi berhenti saat $t = 18,01$ detik dengan penurunan frekuensi hingga 54,923%.

Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori prohibited operation menurut standar IEEE Std.106-1987.



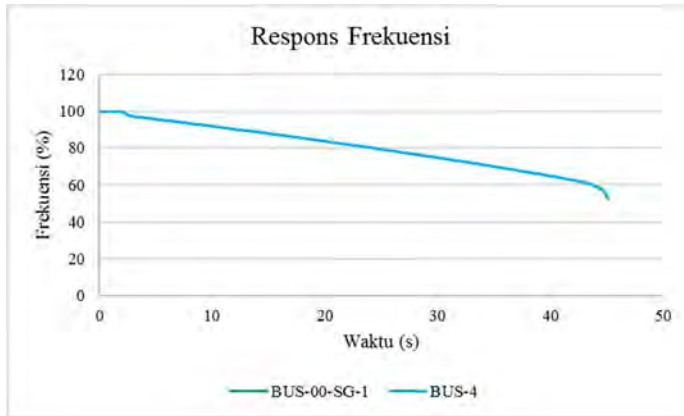
Gambar 4. 36 Respons Tegangan Saat *Utility off* dari Sistem

Dari data respons tegangan pada gambar 4.36, saat *utility off* dari sistem pada $t = 2$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan, dimana tegangan kedua bus meningkat tajam menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Hal ini sangat berbahaya bagi sistem, maka dari itu perlu dilakukan upaya pelepasan beban agar sistem dapat kembali stabil.

4.3.5.1 Studi Kasus *Utility PLN off* Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Frekuensi

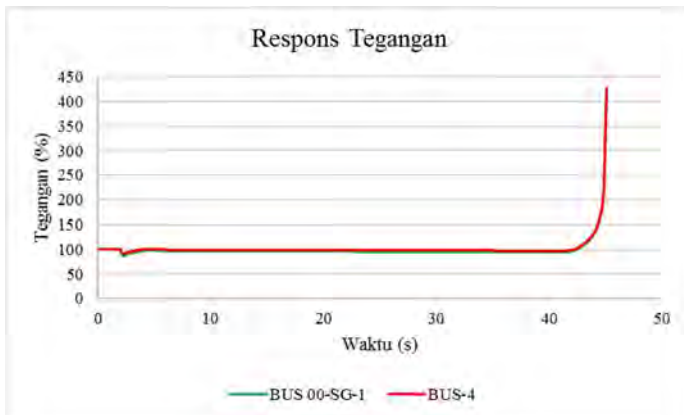
Kondisi saat *utility PLN off* dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada sub bab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan frekuensi dengan menggunakan standar ANSI/IEEE C37.106-1987 (3 langkah).

Pada kasus ini pada pelepasan beban tahap 1, beban yang dilepas yaitu sebesar 10% dari beban total yaitu sebesar (1,7818 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 1,958 MW. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 1 disimulasikan pada $t = 2,42$ detik dengan rincian pada $t = 2,3$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,83% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 cycle yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.37 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

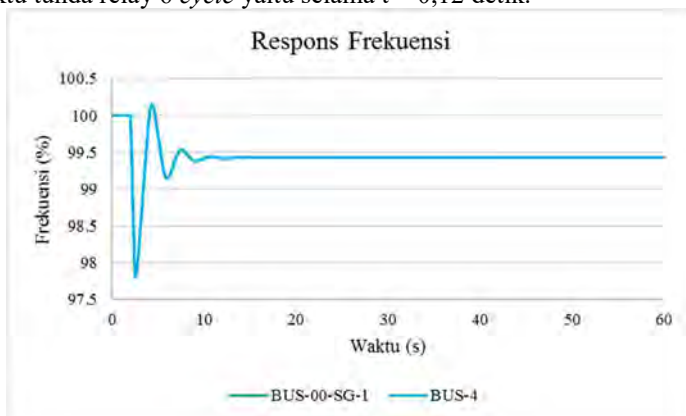
Dari data respons frekuensi pada gambar 4.37, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,42$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan masih mengalami ketidakstabilan frekuensi. Saat dilakukan simulasi, simulasi berhenti pada $t = 45,03$ detik dengan nilai frekuensi 52,576%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori prohibited operation menurut standar IEEE Std.106-1987



Gambar 4.38 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 1 dengan Frekuensi

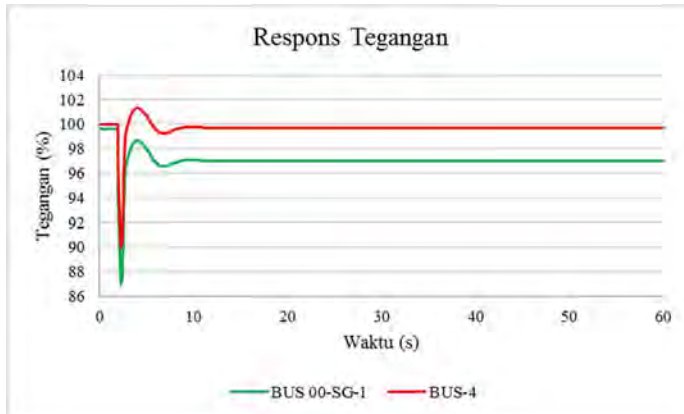
Dari data respons tegangan pada gambar 4.38, saat dilakukan pelepasan beban tahap 1 pada $t = 2,42$ detik didapat nilai tegangan pada kedua bus mengalami ketidakstabilan dimana nilainya naik menuju tak terhingga atau tidak konvergen. Kondisi ini merupakan kondisi yang berbahaya bagi sistem. Untuk itu perlu dilakukan mekanisme pelepasan beban tahap 2 sebagai upaya untuk menstabilkan sistem kembali.

Pada kasus pelepasan beban tahap 2, beban yang dilepas yaitu sebesar 15% dari beban total yaitu sebesar (2,672 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 3,674 MW sesuai data urutan prioritas beban yang ada di PT. Pupuk Kujang. Waktu simulasi pelepasan beban tahap 2 disimulasikan pada $t = 2,52$ detik dengan rincian pada $t = 2,4$ detik adalah waktu penurunan frekuensi hingga 98,16% kemudian ditambah waktu tunda relay 6 *cycle* yaitu selama $t = 0,12$ detik.



Gambar 4.39 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.39, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,52$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 97,804%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 99,422%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi sudah memenuhi standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

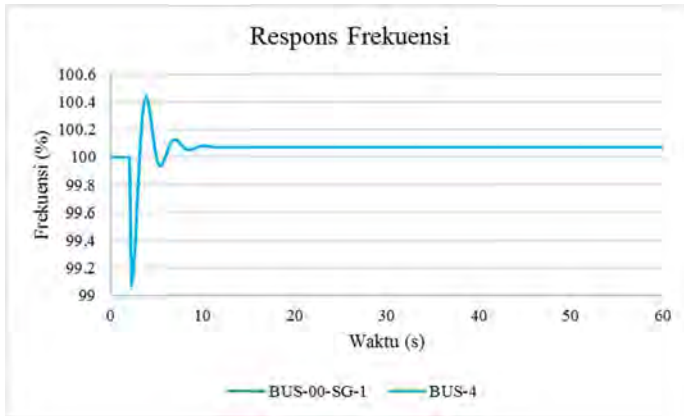


Gambar 4.40 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban Tahap 2 dengan Frekuensi

Dari data respons tegangan pada gambar 4.40, saat dilakukan pelepasan beban tahap 2 pada $t = 2,52$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 86,936% dan kemudian stabil pada 96,995%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 89,891% dan kemudian stabil pada 99,696%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%, meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada kedua bus.

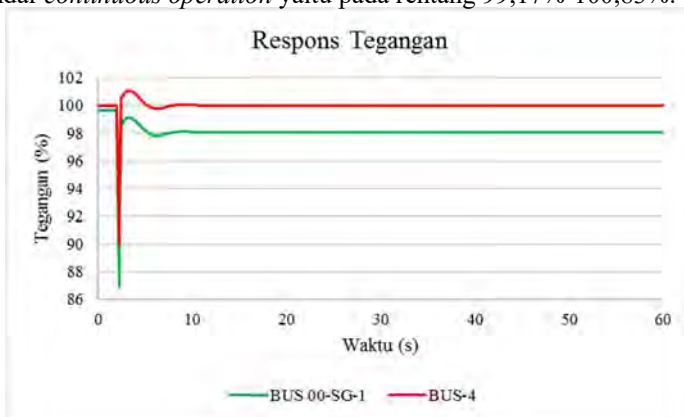
4.3.5.2 Studi Kasus Utility PLN off Dari Sistem dan Mekanisme Pelepasan Beban dengan Status

Kondisi sistem saat *utility* PLN off dari sistem menunjukkan nilai frekuensi yang berada pada kondisi yang tidak sesuai standar IEEE Std.106-1987. Sehingga perlu dilakukan upaya pelepasan beban untuk mengembalikan frekuensi sistem dalam kondisi yang aman. Pada subbab ini akan dilakukan upaya pelepasan beban dengan status. Pada kasus ini beban yang dilepas yaitu sebesar nilai nominal pembangkitan yang hilang yaitu sebesar (7,817 MW), namun pada tugas akhir ini total beban yang dilepas sebesar 8,02MW. Waktu simulasi pelepasan beban dengan status ini disimulasikan pada $t = 2,2$ detik dengan rincian pada $t = 0,2$ detik adalah waktu tunda relay.



Gambar 4.41 Respons Frekuensi Setelah Pelepasan Beban dengan Status

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.41, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 turun hingga mencapai 99.071%. Selanjutnya frekuensi sistem stabil kembali pada 100.074%. Menurut standar IEEE Std.106-1987 kondisi frekuensi sudah sesuai dengan batas standar *continuous operation* yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.



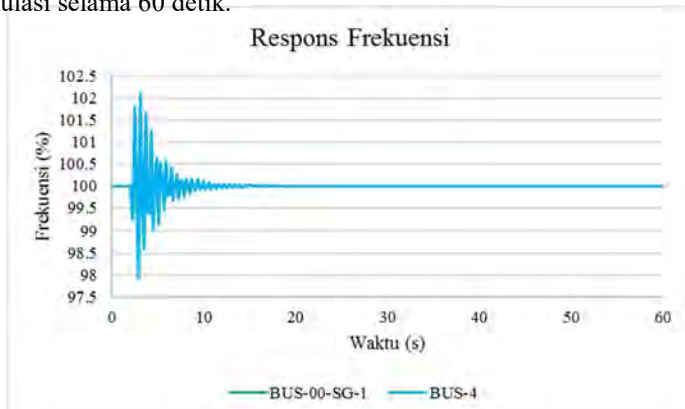
Gambar 4. 42 Respons Tegangan Setelah Pelepasan Beban dengan status

Dari data respons tegangan pada gambar 4.42, saat dilakukan pelepasan beban dengan status pada $t = 2,2$ detik didapat nilai tegangan

pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 86,913% dan kemudian stabil pada 98,051%, nilai tegangan pada Bus 4 nilai tegangan mengalami penurunan hingga 89,869% dan kemudian stabil pada 99,997%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%, meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada kedua bus.

4.3.6 Studi Kasus Hubung Singkat pada Bus Housing 13,8kV saat Operasi Pembangkitan 1 ($t = 2$ detik)

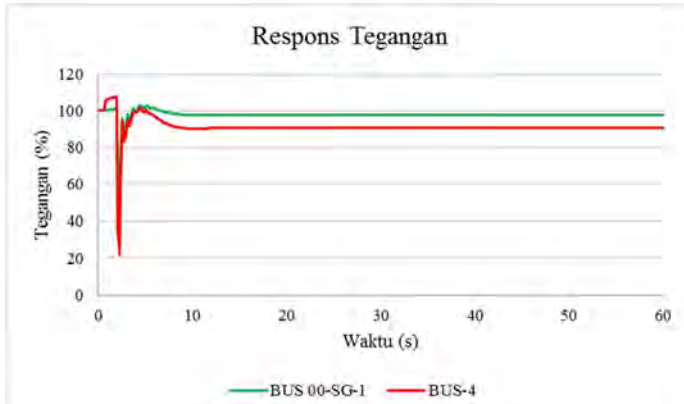
Pada kasus ini disimulasikan fenomena hubung singkat tiga fasa pada Bus Housing 13,8kV dengan operasi pembangkitan semua sumber aktif. Pada pola operasi ini *utility* beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 6,318 MW, sedangkan dua generator yang lain beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 6,5 MW untuk GTG-Hitachi dan 5 MW untuk GTG K1B Solar. Dalam kasus ini disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus Housing 13,8kV pada $t = 2$ detik, kemudian diikuti dengan mekanisme *open CB* sesuai sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik.



Gambar 4.43 Respons Frekuensi saat Hubung Singkat di Bus Housing

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.43, saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus Housing pada $t = 2$ detik dilanjutkan dengan mekanisme *open CB* sesuai dengan sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami osilasi dengan titik terendah pada 97,928% dan titik tertingginya pada 102,092%. Kemudian frekuensi

sistem kembali stabil pada nilai 99.998%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *continuous operation* menurut standar IEEE Std.106-1987 yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.



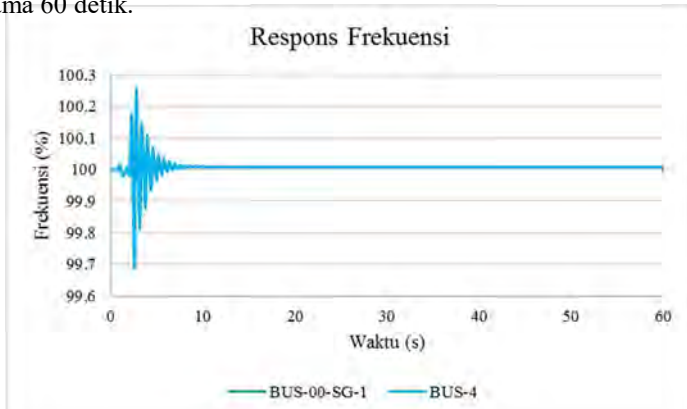
Gambar 4.44 Respons Tegangan Saat Hubung Singkat di Bus Housing

Dari data respons tegangan pada gambar 4.44, saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus Housing pada $t = 2$ detik dilanjutkan dengan mekanisme open CB sesuai dengan sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 50,365% dan kembali stabil pada 97,813%, sedangkan tegangan pada Bus 4 mengalami penurunan hingga 22,133% dan kembali stabil pada 90,621%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%, meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada kedua bus.

4.3.7 Studi Kasus Hubung Singkat pada Bus 00-MCC-2 2,4kV saat Operasi Pembangkitan 1 ($t = 2$ detik)

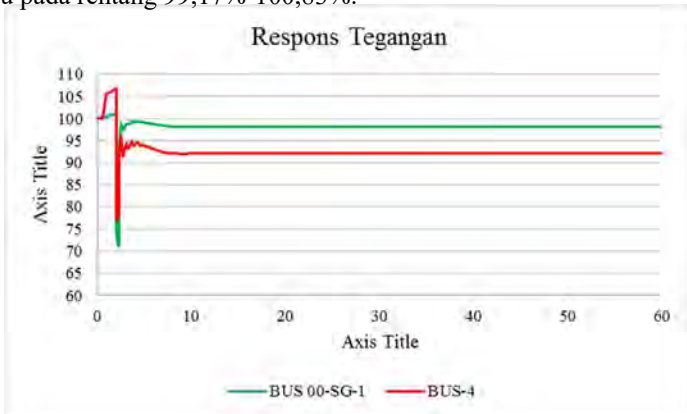
Pada kasus ini disimulasikan fenomena hubung singkat tiga fasa pada Bus 00-MCC-2 2,4kV dengan operasi pembangkitan semua sumber aktif. Pada pola operasi ini *utility* beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 6,318 MW, sedangkan dua generator yang lain beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 6,5 MW untuk GTG-Hitachi dan 5 MW untuk GTG K1B Solar. Dalam kasus ini disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus 00-MCC-2 pada $t = 2$ detik, kemudian diikuti dengan mekanisme *open CB*

sesuai sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik.



Gambar 4.45 Respons Frekuensi saat Hubung Singkat di Bus 00-MCC-2

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.45, saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus 00-MCC-2 pada $t = 2$ detik dilanjutkan dengan mekanisme *open* CB sesuai dengan sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami osilasi dengan titik terendah pada 99,688% dan titik tertingginya pada 100,257%. Kemudian frekuensi sistem kembali stabil pada nilai 99.992%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *continuous operation* menurut standar IEEE Std.106-1987 yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

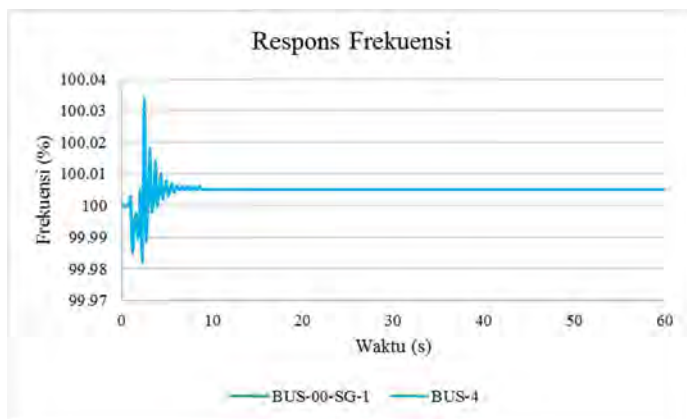


Gambar 4.46 Respons Tegangan Saat Hubung Singkat di Bus 00-MCC-2

Dari data respons tegangan pada gambar 4.46, saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus 00-MCC-2 pada $t = 2$ detik dilanjutkan dengan mekanisme *open CB* sesuai dengan sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 71,257% dan kembali stabil pada 98,222%, sedangkan tegangan pada Bus 4 mengalami penurunan hingga 77,287% dan kembali stabil pada 92,179%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%, meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada kedua bus.

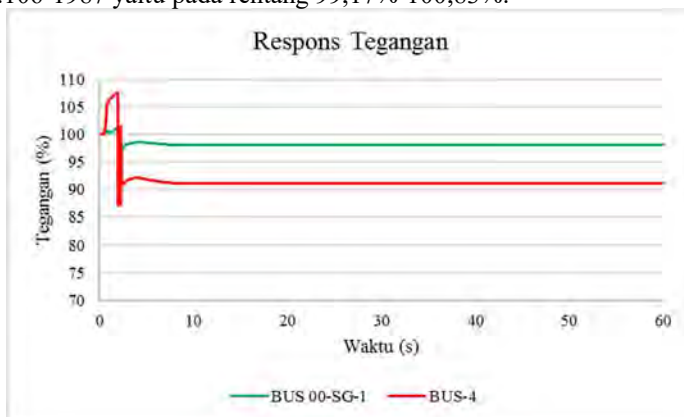
4.3.8 Studi Kasus Hubung Singkat pada Bus 61-MCC-3 0,4kV saat Operasi Pembangkitan 1 ($t = 2$ detik)

Pada kasus ini disimulasikan fenomena hubung singkat tiga fasa pada Bus 61-MCC-3 0,4kV dengan operasi pembangkitan semua sumber aktif. Pada pola operasi ini *utility* beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 6,318 MW, sedangkan dua generator yang lain beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 6,5 MW untuk GTG-Hitachi dan 5 MW untuk GTG K1B Solar. Dalam kasus ini disimulasikan gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus 61-MCC-3 pada $t = 2$ detik, kemudian diikuti dengan mekanisme *open CB* sesuai sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik dengan total waktu simulasi selama 60 detik.



Gambar 4.47 Respons Frekuensi saat Hubung Singkat di Bus 61-MCC-3

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.47, saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus 61-MCC-3 pada $t = 2$ detik dilanjutkan dengan mekanisme *open CB* sesuai dengan sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 00-SG-1 dan Bus 4 mengalami osilasi dengan titik terendah pada 99,983% dan titik tertinggi pada 100,034%. Kemudian frekuensi sistem kembali stabil pada nilai 100,005%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *continuous operation* menurut standar IEEE Std.106-1987 yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.

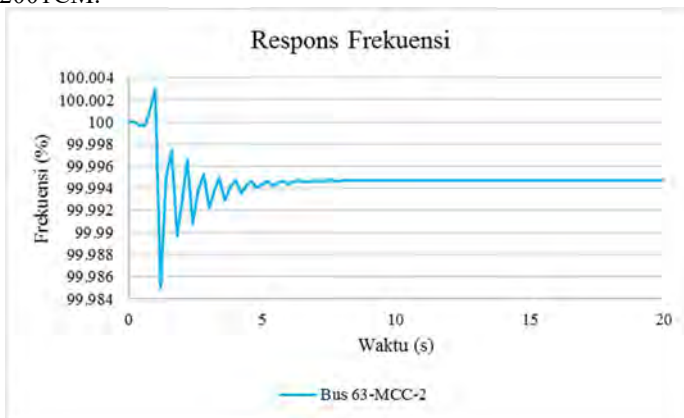


Gambar 4.48 Respons Tegangan Saat Hubung Singkat di Bus 61-MCC-3

Dari data respons tegangan pada gambar 4.48, saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada Bus 61-MCC-3 pada $t = 2$ detik dilanjutkan dengan mekanisme *open CB* sesuai dengan sistem proteksinya pada $t = 2,3$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 00-SG-1 mengalami penurunan hingga 90,93% dan kembali stabil pada 98,103%, sedangkan tegangan pada Bus 4 mengalami penurunan hingga 87,125% dan kembali stabil pada 91,167%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%, meskipun sempat mengalami *dip voltage* pada bus 4.

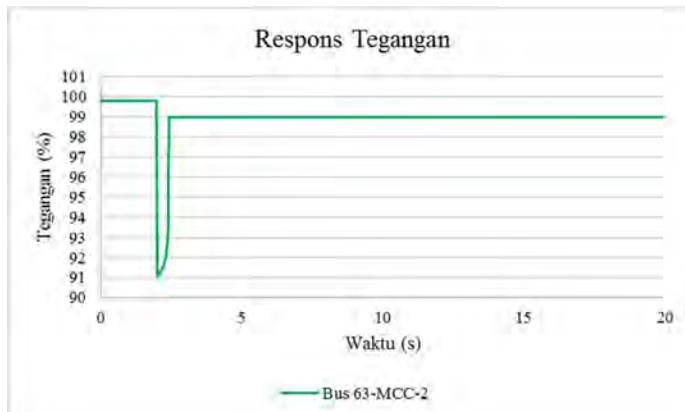
4.3.9 Studi Kasus Penyalaan Motor C-GA2001CM saat Operasi Pembangkitan 3 ($t = 2$ detik)

Pada kasus ini disimulasikan kasus penyalaan motor C-GA2001CM dengan operasi pembangkitan dua sumber aktif yaitu generator GTG-Hitachi dan generator GTG K1B Solar. Pada pola operasi ini GTG-Hitachi beroperasi dengan mode *swing* dan menyuplai daya aktif sebesar 9,275 MW, sedangkan generator GTG K1B Solar beroperasi dengan mode *voltage control* dan menyuplai daya aktif sebesar 8,5 MW. Dalam kasus ini disimulasikan penyalaan motor C-GA2001CM pada $t = 2$ detik, kemudian diamati Bus 63-MCC-2 yang merupakan bus diatas motor C-GA2001CM.



Gambar 4.49 Respons Frekuensi saat Penyalaan Motor C-GA2001CM

Dari data respons frekuensi pada gambar 4.49, saat penyalaan motor C-GA2001CM pada $t = 2$ detik didapat nilai frekuensi dari sistem yang direpresentasikan pada Bus 63-MCC-2 mengalami penurunan hingga 99,985% dan kembali stabil pada 99,994%. Kondisi frekuensi ini termasuk dalam kategori *continuous operation* menurut standar IEEE Std.106-1987 yaitu pada rentang 99,17%-100,83%.



Gambar 4.50 Respons Tegangan saat Penyalaan Motor C-GA2001CM

Dari data respons tegangan pada gambar 4.50, saat penyalaan motor C-GA2001CM pada $t = 2$ detik didapat nilai tegangan pada Bus 63-MCC-2 mengalami penurunan hingga 91,049% dan kembali stabil pada 98.995%. Menurut standar IEEE 1159-2009 tentang definisi tegangan, tegangan pada sistem sudah dalam kondisi operasi normal yaitu pada rentang 90%-110%.

4.4 Rekapitulasi Data

4.4.1 Rekapitulasi Nominal Pelepasan Beban

Tabel 4.2 Nominal Pelepasan Beban

Total Beban (MW)	Pelepasan Beban	Beban (%) (ANSI/IEEE C37.106-1987)	Beban yang dilepas (MW)	Realisasi (%)	Realisasi (MW)
17,818	Tahap 1	10	1,7818	10,98	1,958
	Tahap 2	15	2,6727	20,61	3,674
	Tahap 3	Sesuai kebutuhan untuk mengembalikan sistem ke kondisi stabil	-	-	-

Dari hasil simulasi yang dilakukan, untuk mekanisme pelepasan beban dengan frekuensi berdasarkan standar (ANSI/IEEE C37.106-1987),

dilakukan rancangan pelepasan beban yang telah disesuaikan dengan data prioritas beban yang ada di PT. Pupuk Kujang seperti yang ada pada tabel 4.2 diatas.

4.4.2 Rekapitulasi Kondisi Frekuensi dan Tegangan

Tabel 4.3 Kasus Kestabilan Transien saat Operasi Pembangkitan 1

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
Gen1 Off	99,949	100	00-SG-1	96,452	96,452	✓	✓
			4	94,014	94,014		✓
Gen 1 Off + LS Status	99,912	100	00-SG-1	97,291	99,18	✓	✓
			4	94,889	98,466		✓
PLN Off	98,296	98,936	00-SG-1	93,28	99,984	✗	✓
			4	88,0154	102.536		✓
PLN-OFF +LSF-1	98,542	99,2221	00-SG-1	93,2795	97,46	✓	✓
			4	88,0154	94,1247		✓
PLN OFF + LS Status	99,5091	99,9837	00-SG-1	93,2795	97,2093	✓	✓
			4	88,0154	91,6505		✓
Gen2 OFF	99,9496	100	00-SG-1	92,1799	99,5469	✓	✓
			4	87,3479	99,8813		✓
Gen2 OFF + LS Status	99,88	100	00-SG-1	92,1799	99,8617	✓	✓
			4	87,3479	100,305		✓
SC 13,8kV	97,928	99,998	00-SG-1	50,365	97,813	✓	✓
			4	22,133	90,621		✓
SC 2,4kV	99,688	99,992	00-SG-1	71,257	98,222	✓	✓
			4	77,287	92,18		✓
SC 0,4kV	99.9821	100.005	00-SG-1	90,93	98,103	✓	✓
			4	87,125	91,167		✓

Dari hasil simulasi kestabilan transien yang dilakukan pada pola operasi pembangkitan 1 yaitu semua sumber beroperasi didapat satu

kondisi yang tidak aman dari sisi frekuensi yaitu saat kasus PLN *Off* dimana nilai frekuensi berada dibawah standar IEEE Std.106-1987. Sedangkan, pada kasus hubung singkat sistem masih dalam kondisi aman.

Tabel 4.4 Kasus Kestabilan Transien saat Operasi Pembangkitan 2

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
PLN-OFF	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
PLN OFF + LSF-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
PLN OFF + LSF-2	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
PLN OFF + LSF-3	96,886	99,738	00-SG-1	82,623	100,271	✓	✓
			4	79,832	99,566		✓
PLN OFF + LS Status	98,343	99,738	00-SG-1	82,692	100,271	✓	✓
			4	79,902	99,566		✓
Gen2 OFF	99,999	100	00-SG-1	98,205	98,205	✓	✓
			4	98,2276	98,228		✓
Gen2 OFF + LS Status	99,999	100	00-SG-1	98,205	101,994	✓	✓
			4	98,2276	103,838		✓

Dari hasil simulasi kestabilan transien yang dilakukan pada pola operasi pembangkitan 2 yaitu hanya dua sumber beroperasi yaitu PLN dan GTG-Solar didapat kondisi yang tidak aman dari sisi frekuensi maupun sisi tegangan yaitu saat kasus PLN *Off* dimana frekuensi dan tegangan dari sistem mengalami ketidakstabilan dimana nilai frekuensi dari sistem mengalami penurunan hingga menuju 0 dan nilai dari tegangan meningkat dan tidak konvergen. Sehingga dari kasus tersebut

perlu dilakukan pelepasan beban dengan metode frekuensi hingga mencapai tiga tahap untuk mengembalikan sistem kembali stabil.

Tabel 4.5 Kasus Kestabilan Transien saat Operasi Pembangkitan 3

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
Gen1 OFF	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
Gen1 OFF + LSF-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
Gen1 OFF + LSF-2	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
Gen1 OFF + LSF-3	97,496	99,75	00-SG-1	81,528	98,192	√	√
			4	79,572	97,471		√
Gen1 OFF + LS Status	98.7971	99,75	00-SG-1	81,776	98,192	√	√
			4	79,817	97,471		√
Gen2 OFF	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
Gen2 OFF + LSF-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
Gen2 OFF + LSF-2	97,806	99,22	00-SG-1	80,909	97,188	√	√
			4	83,059	99,884		√
Gen2 OFF + LS Status	98,818	99,88	00-SG-1	80,909	98,242	√	√
			4	83,059	100,185		√
MS	99,985	99,99	63_MCC_2	91,049	98,995	√	√

Dari hasil simulasi kestabilan transien yang dilakukan pada pola operasi pembangkitan 3 yaitu hanya dua sumber beroperasi yaitu GTG-Hitachi dan GTG-Solar didapat kondisi yang tidak aman dari sisi frekuensi maupun sisi tegangan yaitu semua kasus lepasnya generator dimana frekuensi dan tegangan dari sistem mengalami ketidakstabilan dimana nilai frekuensi dari sistem mengalami penurunan hingga menuju 0 dan nilai dari tegangan meningkat dan tidak konvergen. Sehingga dari kasus tersebut perlu dilakukan pelepasan beban dengan metode frekuensi hingga mencapai tiga tahap untuk mengembalikan sistem kembali stabil. Sedangkan, pada kasus starting motor kondisi sistem masih dalam kategori aman.

Tabel 4.6 Kasus Kestabilan Transien saat Operasi Pembangkitan 4

Kasus	f min (%)	f steady state (%)	ID Bus	V min (%)	V steady state (%)	Kondisi	
						f	V
PLN-OFF	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
PLN OFF + LSF-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	00-SG-1	Tidak Stabil	Tidak Stabil	X	X
			4	Tidak Stabil	Tidak Stabil		X
PLN OFF + LSF-2	97,804	99,422	00-SG-1	86,936	96,995	√	√
			4	89,891	99,696		√
PLN OFF + LS Status	99,071	100,074	00-SG-1	86,913	98,051	√	√
			4	89,869	99,997		√
Gen2 OFF	99,999	100	00-SG-1	95,138	95,138	√	√
			4	92,663	92,663		√
Gen2 OFF + LS Status	99,999	100	00-SG-1	95,138	100,029	√	√
			4	92,663	99,322		√

Dari hasil simulasi kestabilan transien yang dilakukan pada pola operasi pembangkitan 4 yaitu dua sumber beroperasi didapat satu kondisi yang tidak aman dari sisi frekuensi yaitu saat kasus PLN *Off* dimana sistem menjadi tidak stabil dan perlu pelepasan beban hingga tahap kedua.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Kestabilan sistem yang ada di PT. Pupuk Kujang sangat dipengaruhi oleh suplai daya dari *utility* PLN. Apabila terjadi gangguan suplai daya dari *utility* PLN akan terjadi gangguan ketidakstabilan baik tegangan maupun frekuensi pada sistem.
2. Saat terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa pada bus dengan tegangan 13,8kV, 2,4kV dan 0,4kV ketika disuplai oleh tiga sumber aktif yaitu *utility* PLN, GTG Hitachi dan GTG K1B Solar sistem masih dapat stabil dari sisi frekuensi maupun tegangan, meskipun pada sisi tegangan terdapat fenomena *dip voltage*.
3. Sistem kelistrikan yang ada di PT. Pupuk Kujang cukup andal dalam masalah penyalan motor. Saat dilakukan penyalan motor C-GA2001CM yaitu motor terbesar yang ada di PT. Pupuk Kujang secara *direct online* sistem masih dapat stabil dari segi frekuensi dan tegangan yang hanya turun hingga 91% dari 100% meskipun sistem hanya disuplai oleh dua buah sumber tanpa *utility* PLN.
4. Mekanisme pelepasan beban dengan menggunakan frekuensi memiliki respons yang lebih lambat dalam mengatasi gangguan dibandingkan dengan pelepasan beban dengan status.

5.2 Saran

Adapun beberapa saran yang perlu diperhatikan setelah melakukan analisis pada tugas akhir sebagai berikut:

1. Sebaiknya mekanisme pelepasan beban yang dilakukan menggunakan status sebagai mekanisme pelepasan beban yang utama dan mekanisme pelepasan beban dengan frekuensi digunakan sebagai *backup*.
2. Meskipun sistem di PT. Pupuk Kujang andal dalam hal penyalan motor, tetapi perlu ditambahkan *starting device* pada motor-motor besar agar sistem tetap aman saat penyalan motor.
3. Bila memungkinkan penambahan daya kontrak pada PLN atau melakukan penambahan pembangkit baru agar sistem lebih andal saat adanya gangguan pada sistem.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kundur, P., “*Power System Stability and Control*”, McGraw-Hill, Inc, 1994.
- [2] IEEE/CIGRE Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, “*Definition and Classification of Power System Stability*”, IEEE Transactions on Power System, vol. 19, no. 2, Mei 2004.
- [3] Yudiantira, “Analisis Kestabilan Transien dan Mekanisme Pelepasan Beban di PT. PERTAMINA RU V Balikpapan Akibat Penambahan Generator 2x15MW Dan Penambahan Beban 25 MW”, Bab. 2, 2015
- [4] IEEE, “*Guide for Abnormal Frequency Protection for Power Generating Plants*”, ANSI/IEEE C37.106-1987, 1987.
- [5] IEEE, “*Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*”, IEEE Std 1159-2009 (Revision of IEEE Std 1159-1995), 2009.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Aulia Rahman, dilahirkan di Jakarta pada tanggal 1 Juni 1995. Penulis merupakan putra kedua dari empat bersaudara. Putra dari pasangan Bahrudin Khasbullah dan Hakimah Masfiyah ini memulai jenjang pendidikan di TK Islam Terpadu An-Nur, SD Islam Terpadu Al-Khairaat, SMP Negeri 49 Jakarta, dan SMA Negeri 61 Jakarta hingga lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi di Departemen Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama kuliah, penulis aktif dalam kegiatan organisasi mahasiswa sebagai staff departemen Hubungan Luar HIMATEKTRO ITS 2014/2015 dan kepala departemen Hubungan Luar HIMATEKTRO ITS 2015/2016. Penulis aktif sebagai asisten Laboratorium Instrumentasi Pengukuran dan Identifikasi Sistem Tenaga (LIPIST) B-204. Penulis dapat dihubungi melalui email auliarrahman27@gmail.com.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran Data Prioritas Beban PT. Pupuk Kujang

NO	FEEDER		BEBAN TERBACA	KW ETAP	KVAR ETAP	Nama CB
1	52 - 4	TR1 DAN TR 4 K 1A	380	337	257	52 - 4
2	52 - 5	TR 2 DAN TR 3 K1A	801	767	536	52 - 5
3	52 - 6	TR 5 K1A & BAGGING K1A	753	770	590	52 - 6
4	52 - 7	TR 11 DAN NPK	448	630	496	52 - 7
5	FEEDER 8	Inc ss#2	1520	1782	1130	CB1196
6	FEEDER 9	NH3 K1B	512	626	432	CB1198
7	FEEDER 10	SS #1 POWER 2,4 KV	1070	715	683	CB1199
8	FEEDER 11	UREA 1B (TR 3A)	700	648	422	CB1201
9	FEEDER 12	UREA 1B (TR 3B)	810	625	348	CB1200
10	52 - 3'	UREA K1A	3711	3674	2552	52 - 3'
11	FEEDER 7	SS#3 (BAGGING K1B)& NPK 2	230	402	310	CB 1197
12	52 - 9	TR 10 (3003J&JA)	286	257	120	52 - 9
13	52 - 1'	PERUMAHAN	503	704	445	52 - 1'
14	52 - 2'	MO,GPA,KLINIK &CO	871	868	682	52 - 2'
15	52 - 1	PT SKP	41	129	97	52 - 1

Lampiran Data Seting Governor GTG Hitachi

Parameter	Generator GTG Hitachi
Tipe	2301
Mode	Droop
Droop	5
Pmin	5
Pmax	14,68
thetaMax	25
thetaMin	0
alpha	0,8273
beta	0,165
Rho	0,2
K1	271,6
Tau	0,1
T1	0,025
T2	0,01

Lampiran Data Seting Governor GTG K1B Solar

Parameter	Generator GTG K1B Solar
Tipe	2301
Mode	Droop
Droop	5
Pmin	0
Pmax	9,5
thetaMax	25
thetaMin	0
alpha	0,8273
beta	0,165
Rho	0,2
K1	271,6
Tau	0,1
T1	0,025
T2	0,01

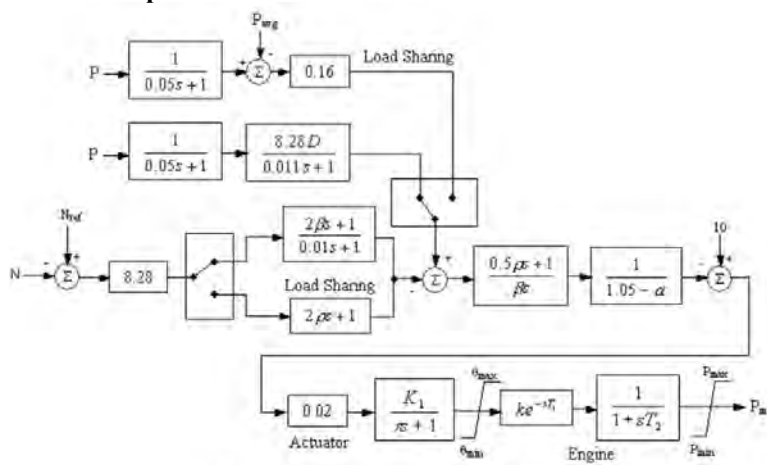
Lampiran Data Setting Exciter GTG Hitachi

Parameter	Generator GTG Hitachi
Tipe	ST1
Control Bus	Bus1
VRmax	4,6
VRmin	0
VImax	2,4
VImin	-2,4
KA	52
KC	0,05
KF	0,114
TA	0,01
TB	0,92
TC	0
TF	0,6
TR	0

Lampiran Data Setting Exciter GTG Solar

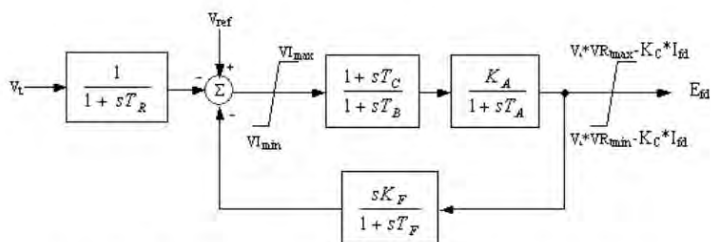
Parameter	Generator GTG Solar
Tipe	ST1
Control Bus	00-SG-1
VRmax	4,6
VRmin	0
VImax	2,4
VImin	-2,4
KA	52
KC	0,05
KF	0,114
TA	0,01
TB	0,92
TC	0
TF	0,6
TR	0

Lampiran Blok Diagram Governor Tipe 2301



Woodward Governor 2301A and 2301 (2301)

Exciter Tipe ST1



IEEE Type ST1 - Potential-Source Controlled-Rectifier Exciter (ST1)